



TUGAS AKHIR - SF141501

**ANALISIS PENGARUH VARIASI *MACROBENDING* PADA
FIBER OPTIK *SILICA* JENIS *GRADDED INDEX*
MULTIMODE TIPE G-651 TERHADAP *LOSSES*
MENGUNAKAN *OPTICAL POWER METER (OPM)***

**AFANI SAKINAH
NRP 1111 100 009**

**Dosen Pembimbing
Drs. Gontjang Prajitno, M.Si**

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**



FINAL PROJECT - SF 091321

**ANALYSIS OF EFFECT OF VARIATION
MACROBENDING SILICA OPTICAL FIBER
TYPES OF MULTIMODE GRADED INDEX G-
651 AGAINST LOSSES USING OPTICAL
POWER METER (OPM)**

**AFANI SAKINAH
NRP 1111 100 009**

**Advisor
Drs.Gontjang Prajitno, M.Si**

**Physics Departement
Faculty Matematics and Natural Science
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH VARIASI *MACROBENDING* PADA FIBER OPTIK *SILICA* JENIS *GRADDED* *INDEX MULTIMODE* TIPE G-651 TERHADAP *LOSSES* MENGGUNAKAN *OPTICAL POWER METER* (OPM)

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Sains
pada
Bidang Studi Optoelektronika
Program Studi S-1 Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

AFANI SAKINAH
NRP. 1111 100 009

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

Drs. Gontjang Prajitno, M.Si

JURUSAN
FISIKA

SURABAYA, JANUARI 2016

ANALISIS PENGARUH VARIASI *MACROBENDING* PADA FIBER OPTIK *SILICA* JENIS *GRADDED INDEX MULTIMODE* TIPE G-651 TERHADAP *LOSSES* MENGGUNAKAN *OPTIKAL POWER METER* (OPM)

Nama : Afani Sakinah
NRP : 1111100009
Pembimbing : Drs. Gontjang Prajitno, M.Si

Abstrak

Telah dilakukan penelitian mengenai analisis pengaruh variasi *Macrobending* pada fiber optik *silica* jenis *Graded Index Multimode* tipe g-651 terhadap *losses* menggunakan *Optikal Power Meter* (OPM). Yang bertujuan untuk mengukur dan mengetahui pengaruh variasi *macrobending* terhadap rugi daya yang di hasilkan. Variasi diameter lekungan yang digunakan yaitu 3,4,5,6,9,12,27 cm dan variasi panjang pelukaan pada fiber yaitu 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 cm. pengukuran rugi daya dilakukan tiap perubahan diameter lekukan dan panjang pelukaan pada fiber optik. panjang gelombang pada power source yang digunakan yaitu 1310 nm dan 1550 nm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Semakin besar diameter lengkungan maka menyebabkan daya keluaran yang ditangkap detector juga semakin besar. hal ini akan menyebabkan selisih daya keluaran semakin kecil atau dengan kata lain nilai rugi dayanya semakin kecil, begitupun sebaliknya. Semakin besar panjang pelukaan pada fiber maka menyebabkan daya keluaran yang ditangkap detector semakin kecil. hal ini akan menyebabkan selisih daya keluaran semakin besar atau dengan kata lain nilai rugi dayanya semakin besar. Dan begitupun sebaliknya.

Kata kunci- lekungan, rugi daya

ANALYSIS OF EFFECT OF VARIATION MACROBENDING SILICA OPTICAL FIBER TYPES OF MULTIMODE GRADED INDEX G-651 AGAINST LOSSES USING OPTICAL POWER METER (OPM)

Name : Afani Sakinah
NRP : 1111100009
Advisor Lecture : Drs. Gontjang Prajitno, M.Si

Abstract

Has conducted research on the analysis of the effect of variations in fiber optic macrobending silica types Gradded Index Multimode Type G-651 against losses using Optical Power Meter (OPM). Which aims to measure and determine the effect of variation macrobending against power losses generated. Bending diameter variation used is 3,4,5,6,9,12,27 cm and length of the hurted variations on fiber of 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 cm. power loss measurements performed every change in the diameter of the indentation and the hurted length of the fiber optic. lenght wave on the power source used is 1310 nm and 1550 nm. The results showed that the greater the diameter of curvature of the causes which captured the output power detector is also getting bigger. this will cause the smaller the difference in output power or in other words, the smaller the value of the power loss. The greater the length of the hurted then causes the output power detector smaller captured. this will lead to the greater difference in output power or in other words, the greater the value of the power loss.

Keywords: bending, losses.

KATA PENGANTAR

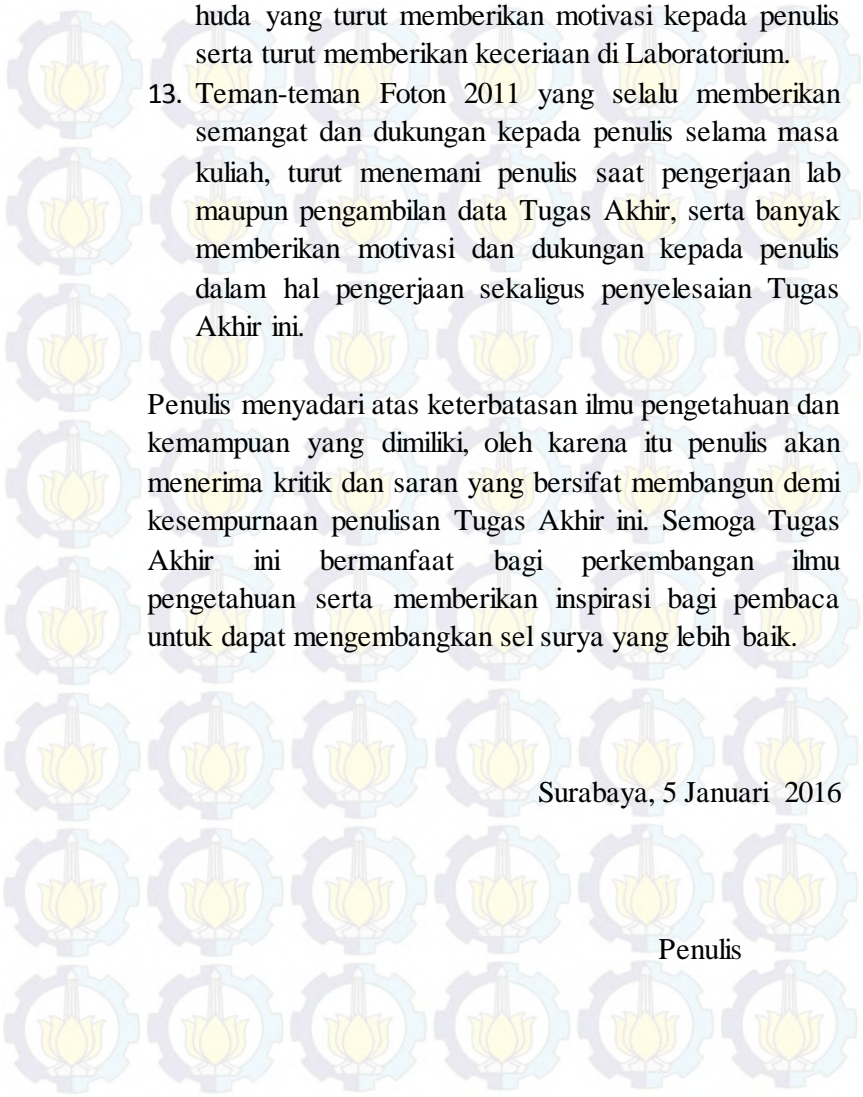
Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir sebagai syarat wajib untuk memperoleh gelar sarjana jurusan Fisika FMIPA ITS dengan judul :

ANALISIS PENGARUH VARIASI *MACROBENDING* PADA FIBER OPTIK *SILICA* JENIS *GRADDED INDEX MULTIMODE* TIPE G-651 TERHADAP *LOSSES* MENGGUNAKAN *OPTICAL POWER METER (OPM)*

Penulis menyadari dengan terselesaikannya penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan kemudahan dan kelancaran kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan tepat waktu.
2. Bapak Drs. Gontjang Prajitno, M.Si, selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang senantiasa memberikan bimbingan, wawasan, pemantauan, dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan lancar.
3. Orang tua, kakak dan keluarga tercinta yang senantiasa memberikan do'a serta dukungan moral dan spiritual terhadap keberhasilan penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Dirjen DIKTI yang telah memberikan beasiswa penuh kepada penulis selama menyelesaikan studi S1 Fisika ini

5. Bapak Dr. Yono Hadi Pramono, M. Eng dan Bu Dr. Melania Suweni Muntini, M.T selaku Ketua Jurusan dan Sekretaris Jurusan Fisika FMIPA ITS.
6. Bapak Dr. Eko Minarto dan Bu Faridawati, M.Si selaku Ketua Program Studi dan Sekretaris Program Studi S1 Jurusan Fisika FMIPA ITS.
7. Seluruh Staf Pengajar di Jurusan Fisika ITS. Kepala Laboratorium Optoelektronika, Kepala Laboratorium Instrumentasi, Kepala Laboratorium Fisika Zat Padat, dan juga segenap staf laboran disana yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. Staf laboran Laboratorium Optoelektronika, Miftahul Ghofar dan staf laboran Instrumentasi mbak devi yang selalu siap sedia membantu penulis dalam hal penyediaan material maupun alat saat pengerjaan Tugas Akhir ini.
9. Rekan seperjuangan fiber optic yaitu Rahmi Intan Yunifar, M. Ainur Yaqin, dan Fristya Astri F. atas kerja samanya dalam menyelesaikan Tugas Akhir dengan penuh suka dan duka.
10. Rekan-rekan seperjuangan penelitian Laboratorium Optoelektronika dan Laboratorium elektronika yang tidak disebutkan satu per satu, yang selalu terbuka dalam memberikan arahan dan bantuan.
11. Rekan Senior penelitian fiber Mbak Lucky, yang selalu dengan sabar memberikan bimbingan seputar pengalaman penelitiannya yang telah lalu baik secara langsung maupun tidak kepada penulis untuk dapat dijadikan acuan serta koreksi agar didapatkan hasil penelitian yang lebih baik.

- 
12. Teman-teman Asisten Fisika Laboratorium bidang Optoelektronika niko, januar, pita, ning, diani, maul, huda yang turut memberikan motivasi kepada penulis serta turut memberikan keceriaan di Laboratorium.
 13. Teman-teman Foton 2011 yang selalu memberikan semangat dan dukungan kepada penulis selama masa kuliah, turut menemani penulis saat pengerjaan lab maupun pengambilan data Tugas Akhir, serta banyak memberikan motivasi dan dukungan kepada penulis dalam hal pengerjaan sekaligus penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari atas keterbatasan ilmu pengetahuan dan kemampuan yang dimiliki, oleh karena itu penulis akan menerima kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan penulisan Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan serta memberikan inspirasi bagi pembaca untuk dapat mengembangkan sel surya yang lebih baik.

Surabaya, 5 Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah/ Ruang Lingkup Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Struktur Serat Optik (<i>fiber optik</i>)	5
2.2 jenis-jenis fiber optik	6
2.3 Penjalaran Sinar dalam Fiber	9
2.4 Numerical Aperture	10
2.5 Rugi-Rugi lekukan serat optik	12
2.6 Optikal Power Meter	14
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Alat dan Bahan	17
3.2 Diagram Kerja Penelitian	17
3.3 Prosedur Kerja	18

BAB IV. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1	Analisa Pengaruh Variasi Diameter Lekukan terhadap Nilai Daya Keluaran	25
4.2	Analisa Pengaruh Variasi Panjang Pelukaan Fiber Terhadap Nilai Daya Keluaran	28
4.3	Analisa Pengaruh Variasi diameter lengkungan dan Panjang Pelukaan Fiber Terhadap Nilai Daya Keluaran	32

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	39
5.2	Saran	39

DAFTAR PUSTAKA

41

LAMPIRAN

43

Biodata Penulis

75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur penyusun serat optik	5
Gambar 2.2	Struktur serat optik <i>multimode step index</i> , <i>multimode graded index</i> , dan <i>singlemode step index</i> serta profil indeks biasnya	8
Gambar 2.3	Sketsa perambatan sinar pada serat optik step indeks	9
Gambar 2.4	ilustrasi <i>Numerical Aperture</i>	10
Gambar 2.5	Skema macrobending pada serat optik.	13
Gambar 2.6	alat OPM tipe OLP-35 dan OLS-35	14
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	18
Gambar 3.2	tahap pelengkungan	19
Gambar 3.3	tahap pelukaan pada fiber	19
Gambar 3.4	tahap pelukaan pada fiber dan dilekukan	19
Gambar 3.5	Diagram alir pengujian	20
Gambar 3.6	perlakuan pelengkungan pada fiber	21
Gambar 3.7	perlakuan pelukaan pada fiber	21
Gambar 3.8	fiber diamati dengan mikroskop setelah fiber sudah dilukai	22
Gambar 3.9	Perlakuan pelukaan sekaligus pelengkungan pada fiber	22
Gambar 3.10	Optikal Power Meter tipe OLP-35 untuk mengukur nilai rugi daya	23
Gambar 3.11	Optikal Power Source tipe OLS-35 yang digunakan untuk penelitian	23
Gambar 4.1	grafik hasil perhitungan macrobending loss pada panjang gelombang 1310 nm	25
Gambar 4.2	grafik hubungan diameter lekukan dengan selisih daya keluaran dengan panjang gelombang 1550 nm dan 1310 nm	26
Gambar 4.3	grafik hubungan panjang pelukaan pada fiber dengan selisih daya keluaran dengan panjang gelombang 1550 nm dan 1310 nm	28

Gambar 4.4	Permukaan fiber optik yang telah dilukai sepanjang 0.5 cm	29
Gambar 4.5	Permukaan fiber optik yang telah dilukai sepanjang 1 cm	29
Gambar 4.6	Permukaan fiber optik yang telah dilukai sepanjang 1.5 cm	30
Gambar 4.7	Permukaan fiber optik yang telah dilukai sepanjang 2 cm	30
Gambar 4.8	Permukaan fiber optik yang telah dilukai sepanjang 2.5 cm	31
Gambar 4.9	grafik hubungan panjang pelukaan pada fiber sebesar 0.5 cm dan dilekukan dengan selisih daya keluaran	33
Gambar 4.10	grafik hubungan panjang pelukaan pada fiber sebesar 1 cm dan dilekukan dengan selisih daya keluaran	33
Gambar 4.11	grafik hubungan panjang pelukaan pada fiber sebesar 1.5 cm dan dilekukan dengan selisih daya keluaran	34
Gambar 4.12	grafik hubungan panjang pelukaan pada fiber sebesar 2 cm dan dilekukan dengan selisih daya keluaran	34
Gambar 4.13	grafik hubungan panjang pelukaan pada fiber dan dilekukan dengan selisih daya keluaran dengan panjang gelombang 1550 nm	35
Gambar 4.14	grafik hubungan panjang pelukaan pada fiber dan dilekukan dengan selisih daya keluaran dengan panjang gelombang 1310 nm	35

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Spesifikasi <i>Fiber Optical Multimode</i>	8
Tabel 2.2	Spesifikasi OLP-35	15
Tabel 2.3	Spesifikasi <i>Optical Power Source</i>	15

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Hasil pengukuran daya keluaran pada tahap pelengkungan, tahap pelukaan fiber dan tahap pelukaan sekaligus pelengkungan dengan panjang gelombang 1310 nm dan 1550 nm	43
------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini perkembangan bidang telekomunikasi untuk transmisi data mengalami kemajuan yang cukup signifikan. Banyak penemuan-penemuan yang dilakukan oleh ilmuwan dalam memenuhi permintaan untuk mentransmisikan data yang besar pada jarak yang sangat jauh, salah satunya adalah serat optik. Serat optik pertama kali diperkenalkan oleh Charles Kao, yang telah mendapatkan hadiah nobel untuk kategori Fisika tahun 2009 karena penemuannya telah mengubah dunia telekomunikasi. Ia telah mengusulkan bahwa cahaya dapat ditransmisikan lewat kabel, dimana kabel tersebut berisi lapisan silika yang dapat menghantarkan cahaya (Djohan, 2009).

Penemuan serat optik sebagai media transmisi didasarkan pada hukum *Snellius* untuk perambatan cahaya pada media transparan seperti pada kaca yang terbuat dari *kuartz* kualitas tinggi dan dibentuk dari dua lapisan utama yaitu lapisan inti yang biasanya disebut *core* dan dilapisi oleh *cladding* dengan indeks bias n . Menurut hukum *Snellius*, jika seberkas sinar masuk pada suatu ujung serat optik sedemikian hingga mengenai bidang batas *core-cladding*, sudut datangnya bernilai lebih besar atau sama dengan sudut kritis maka seluruh sinar akan merambat sepanjang inti serat optik menuju ujung yang lainnya (Kuzyk, 2002).

Karakteristik bahan serat optik sangat berpengaruh dalam transmisi sinyal pada serat optik tersebut. Pemantulan dan pembiasan sinyal di dalam serat optik tergantung pada indeks bias bahan yang dipakai dalam serat optik tersebut. *Attenuasi* (redaman) juga menjadi masalah tersendiri dalam penyaluran sinyal. Bentuk redaman yang sering terjadi ketika proses instalasi kabel adalah *bending* (pembengkokan). Serat optik mengalami redaman/rugi-rugi sinyal ketika dibengkokkan pada jari-jari tertentu. Sinyal yang teredam di tengah perjalanan menuju

receiver menyebabkan penurunan kualitas sinyal yang diterima oleh konsumen ketika menggunakan jasa (Dewi, 2010).

Seiring berjalannya waktu dan berkembangnya teknologi serat optik, telah dilakukan berbagai macam riset guna memperbaiki kualitas bahan maupun melakukan pengembangan terhadap teknologi transmisi sinyal (Waluyo, Nehru, 2000). Serat optik tidak hanya berfungsi mentransmisikan informasi, tapi berkembang menjadi piranti optik dengan fungsi yang luas. Dan serat optik juga berkembang menjadi system sensor.

Dalam penelitian ini akan mempelajari karakterisasi rugi-rugi serat optik dengan menggunakan *Optical Power Meter* (OPM). Serat optik dilengkungkan dengan diameter yang berbeda-beda dan serat optik dilukai dengan variasi panjang kupasan yang berbeda-beda.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana mengkarakterisasi rugi-rugi fiber optik menggunakan *Optical Power Meter* (OPM) sehingga diperoleh *loss*.
2. Bagaimana melakukan pengukuran *bending loss* serat optik *multimode* menggunakan *Optical Power Meter* (OPM) dengan variasi diameter sebesar 6, 9, 12, dan 27 cm.
3. Bagaimana melakukan pengukuran *loss* serat optik *multimode* ketika fiber dilukai menggunakan *Optical Power Meter* (OPM) dengan variasi panjang kupasan 0,5 , 1 , 1,5 , 2, dan 2.5 cm.
4. Bagaimana melakukan pengukuran *loss* serat optik *multimode* yang dilukai sekaligus dilengkungkan menggunakan *Optical Power Meter* (OPM).

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian tugas akhir ini adalah

1. Melakukan karakterisasi rugi-rugi fiber optik menggunakan *Optical Power Meter* (OPM) sehingga diperoleh *loss*.
2. Mengukur *bending loss* serat optik *multimode* menggunakan *Optical Power Meter* (OPM) dengan variasi diameter sebesar 3,4,5,6, 9, 12, dan 27 cm dan mengetahui pengaruh lekukan terhadap rugi daya.
3. Mengukur *loss* serat optik *multimode* ketika dilukai menggunakan *Optical Power Meter* (OPM) dengan variasi panjang kupasan 0,5 , 1 , 1,5 , 2, dan 2.5 cm dan mengetahui pengaruh pelukaan fiber terhadap rugi daya.
4. Mengukur *loss* serat optik *multimode* yang dilukai sekaligus dilengkungkan menggunakan *Optical Power Meter* (OPM) dan mengetahui pengaruhnya.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah

1. Serat optik yang digunakan adalah *multimode silica* tipe G-651 dengan nilai indeks bias efektif untuk panjang gelombang 1310 nm adalah 1,466 dan untuk panjang gelombang 1550 nm adalah 1,467.
2. Alat yang digunakan adalah *Optical Power Meter* (OPM) tipe OLP-35 yang disambungkan ke *port* fiber optik untuk mengukur nilai daya pada fiber.
3. Sumber cahaya yang digunakan adalah *power source meter* tipe OLS-35 dengan tipe sumber cahaya laser dan panjang gelombang 1550 nm dan 1310 nm.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah hasil karakterisasi dari rugi-rugi serat optik tersebut dapat dimanfaatkan sebagai sensor seperti sensor pergeseran, sensor suhu, dan sensor tekanan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini dapat diuraikan sebagai berikut :

1. BabI – Pendahuluan, berisi uraian mengenai latar belakang, dasar kegiatan, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan laporan penelitian.
2. BabII – Tinjauan Pustaka, berisi uraian mengenai teori yang mendukung analisis.
3. BabIII – Metodologi Penelitian, berisi waktu dan tempat penelitian, data penelitian, alat yang digunakan dalam penelitian, serta uraian mengenai metode-metode dan tahapan-tahapan yang dilakukan selama penelitian.
4. BabI V – Analisa Data dan pembahasan, menjelaskan tentang hal-hal yang didapat selama penelitian, hal ini terkait dengan *loss* dan *level loss* yang terbaca pada *Optical Power Meter* (OPM).
5. BabV –Penutup, berisi uraian mengenai kesimpulan dari hasil analisa data dan pembahasan serta saran-saran untuk mendukung hasil penelitian.
6. Lampiran, berisi data – data yang digunakan dalam penelitian beserta beberapa gambar yang menunjang penelitian ini.

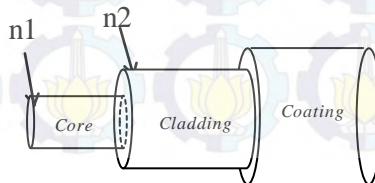
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Struktur Serat Optik (*fiber optik*)

Serat optik adalah suatu pemandu gelombang cahaya yang berupa suatu kabel tembus pandang (*transparent*), yang mana pemampang dari kabel tersebut terdiri dari dua bagian, yaitu *core* (bagian tengah atau inti) dan *cladding* (bagian luar atau kulit). *Cladding* pada serat optik membungkus atau mengelilingi *core*. Indeks bias *core* (n_1) harus lebih besar dari indeks bias *cladding* (n_2). Bagian terluar dari serat optik adalah *coating* yang berfungsi sebagai pelindung (Keiser, 1984). Struktur penyusun serat optik terdiri atas 3 bagian, yaitu:

1. Inti (*core*) yang berfungsi sebagai media pemandu cahaya. *Core* biasanya terbuat dari kaca atau plastik yang memiliki diameter antara 8-50 μm . Ukuran *core* akan mempengaruhi karakteristik serat optik. *Core* memiliki indeks bias yang lebih besar dari *cladding*.
2. Lapisan selimut atau selubung yaitu *cladding* yang berfungsi sebagai bidang batas pemantul agar cahaya optik yang dirambatkan dapat dipantulkan total lagi kedalam *core* sehingga cahaya dapat dipandu sampai ke ujung lainnya. *Cladding* memiliki nilai indeks bias yang lebih kecil daripada *core*. Hubungan indeks bias antara *core* dan *cladding* akan mempengaruhi perambatan cahaya pada *core*.
3. Jaket (*coating*) yang terbuat dari bahan plastik serta berfungsi sebagai pelindung agar serta optik lebih tahan terhadap gangguan eksternal.



Gambar 2.1 Struktur penyusun serat optik

2.2. Jenis-jenis Fiber optik

Berdasarkan struktur indeks bias bahan *core*, serat optik terbagi menjadi dua jenis yaitu serat optik *step index* dan *graded index*. Pada serat optik *step index*, memiliki satu indeks bias yang homogen baik ditengah *core* sampai batas *core* dan *cladding*, sehingga indeks bias secara tertentu serba sama (n_1) dan terjadi perubahan indeks bias secara tak tertentu antara *core* dan *cladding* maka disebut serat optik *step index*. Cahaya disebarkan melalui *core* dengan cara pemantulan total internal. Perbedaan indeks bias antara *core* dan *cladding* dibuat besar, selisih indeks bias antara *core* dan *cladding* didefinisikan sebagai fraksi indeks bias.

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \approx \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (2.1)$$

Sedangkan pada *graded index* indeks memiliki indeks bias yang berubah pada *core*-nya, indeks bias semakin besar saat mendekat ke tengah sumbu *core* dan menurun secara gradual pada batas *core* dan *cladding* (power,1997).

Dalam transmisi serat optik dikenal istilah moda yaitu banyaknya berkas cahaya yang dipancarkan oleh sumber optik berdasarkan panjang gelombang yang berbeda pada masing-masing berkas. Berdasarkan jumlah moda yang terpandu, fiber optik terbagi menjadi dua yaitu serat optik moda tunggal (*singlemode*) dan moda jamak (*multimode*)(suematzu,1982).

Pada serat optik *Multi Mode Fiber Step Index* terbuat dari bahan gelas *silica*. Diameter inti (*core*) sebesar 50-200 μm dan diameter *cladding*-nya sebesar 125-400 μm . Diameter *core* lebih besar dari *single mode* fiber sehingga banyak *mode* yang dapat melaluinya. Cahaya yang digunakan untuk mengirimkan informasi akan mengalami banyak pemantulan sehingga energy cahaya yang dipancarkan sebagian akan berkurang atau hilang. Berkas cahaya yang dipancarkan dari pengirim hingga penerima melalui jalur yang berbeda-beda. Hal ini menyebabkan panjang

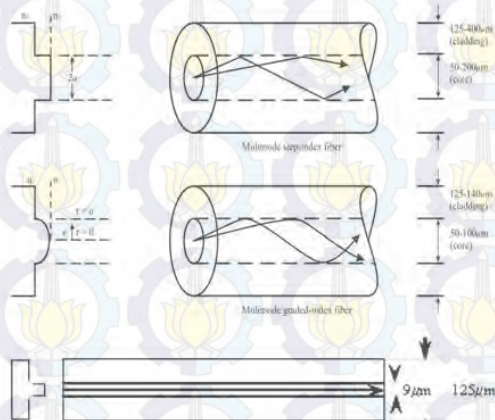
lintasan tiap berkas cahaya sampai di penerima tidak sama. Sehingga dibagian *detector* cahaya, pulsa yang diterima akan mengalami pelebaran akibat waktu tempuh yang berbeda-beda (Nugroho,2005).

Pada serat optik *Gradded Index* terdapat perubahan dalam indeks bias, dimana indeks bias inti mengecil kearah perbatasan *core* dan *cladding*. Hal ini menyebabkan terjadinya pembiasan pada inti sehingga perambatan berkas cahayanya akan melengkung sedangkan kecepatan propagasi antara berkas cahaya datang dengan sudut datang yang lebih besar akan lebih cepat dibandingkan dengan berkas cahaya yang datang dengan sudut datang yang lebih kecil. Jadi walaupun lintasan yang ditempuh mempunyai jarak yang berlainan maka berkas-berkas cahaya yang merambat pada jenis serat optik ini akan mencapai *output* hanya mengalami pelebaran pulsa (dispersi) yang lebih kecil bila dibandingkan dengan pelebaran pulsa output yang terjadi pada serat optik jenis *multimode step index* (Keiser,1991).

Fiber optik *Multimode gradded index* biasanya terbuat dari *multi component glass* dan *silica glass*, tetapi dapat juga terbuat dari bahan lainnya. Diameter intinya sebesar 50-100 μm dan diameter *cladding*nya sebesar 125-140 μm . Serat optik *Multimode Gradded Index* mempunyai indeks bias yang merupakan fungsi dari jarak terhadap sumbu serat optik. Sehingga sinar akan dibiaskan secara bertingkat-tingkat menjauhi *cladding* dan mendekati sumbu inti fiber optik, dengan demikian cahaya yang menjaral melalui beberapa lintasan pada akhirnya akan sampai pada ujung lainnya pada waktu bersamaan.

Pada serat optik *Single Mode Fiber Step Index* ini terbuat dari bahan gelas *silica*. Diameter *core* adalah 8-12 μm dan diameter *cladding*nya sebesar 125 μm . Dalam fiber ini hanya satu berkas yang dapat melaluinya, sehingga tidak akan terjadi pelebaran pulsa di tingkat outputnya. Karena diameternya terlalu kecil maka akan sedikit sulit dalam proses penyambungan. Disamping itu diperlukan sumber optik yang mempunyai spektrum yang sangat sempit untuk mengusahakan efisiensi

kopling yang tinggi dari sumber optik ke inti fiber optik tersebut. Karena tidak terjadi dispersi pulsa maka fiber optik jenis ini mampu mentransmisikan informasi dengan bandwitch yang besar (Keiser,1991). Perbandingan struktur serat optik *multimode step index*, *multimode graded index*, dan *singlemode step index* serta distribusi indeks bias diperlihatkan pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Struktur serat optik *multimode step index*, *multimode graded index*, dan *singlemode step index* serta profil indeks biasnya (Keiser, 1984)

Dalam penelitian ini, serat optik yang digunakan adalah serat optik *silica* jenis *graded index multimode G-651*. Spesifikasi dari serat tersebut sebagai berikut:

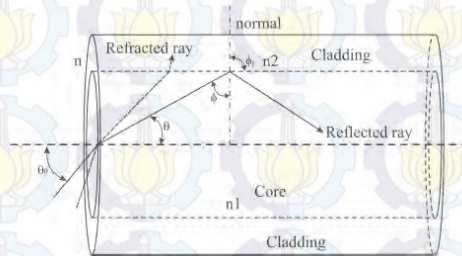
Tabel 2.1 Spesifikasi *Fiber Optik* *Multimode*

No	Parameter	NilangAngka
1	Tipe Serat Optik	Multimode Graded Index
2	Serial number	G-651
3	Panjang gelombang operasi	1310 nm dan 1550 nm
4	Diameter <i>cladding</i>	125 μm
5	<i>Insertion loss</i>	≤ 0,30 dB
6	<i>Return loss</i>	≥ 35 dB

7	Diameter <i>core</i>	62.5 μm
---	----------------------	--------------------

2.3. Penjalaran Sinar Dalam Fiber

Propagansi cahaya pada serat optik terjadi karena pemantulan internal sinar optik yang terjadi pada perbatasan inti dan *cladding*nya akibat adanya perbedaan indeks bias antara keduanya, Hal itu sesuai dengan hukum Snellius. Penerapan hukum Snellius dilakukan pada proses pemantulan dan pembiasan sinar pada bidang batas antara dua medium yang berbeda. Sinar yang datang dari medium rapat (n_1) ke medium kurang rapat (n_2) akan dibiaskan menjauhi garis normal.



Gambar 2.3 Sketsa perambatan sinar pada serat optik step indeks (Keiser,1991)

Pada gambar diatas (gambar 2.3), jika sudut ϕ di perbesar maka sinar akan dirambatkan pada bidang batas kedua medium yaitu batas *core* dan *cladding* (sinar tidak dibiaskan pada *cladding*). Sudut ϕ pada keadaan tersebut dinamakan sudut kritis (ϕ_c). dengan menggunakan hukum Snellius diperoleh nilai sudut ϕ_c seperti berikut:

$$n_1 \sin \phi = n_2 \sin \phi_1 \quad (2.2)$$

dengan $\phi_1 = 90^\circ$ sehingga:

$$n_1 \sin \phi_c = n_2 \sin 90^\circ$$

$$\sin \phi_c = \left(\frac{n_2}{n_1} \right)$$

$$\phi_c = \sin^{-1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right) \quad (2.3)$$

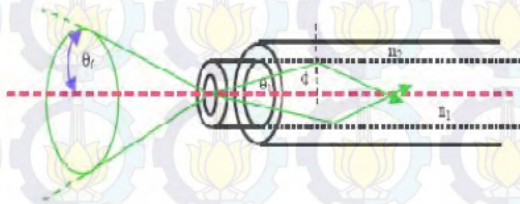
Dalam ungkapan sudut θ melalui hubungan $\theta_c = \frac{\pi}{2} - \phi_c$, sudut kritis dapat ditulis:

$$\begin{aligned}\sin \phi_c &= \left(\frac{n_2}{n_1}\right) \\ \sin \left(\frac{\pi}{2} - \theta_c\right) &= \left(\frac{n_2}{n_1}\right) \\ \cos \theta_c &= \frac{n_2}{n_1} \\ \theta_c &= \cos^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right)\end{aligned}\quad (2.4)$$

Untuk nilai sudut $\theta_c < \theta$ dalam gambar 2.3, tidak ada sinar yang dibiaskan kedalam selubung, sehingga seluruh sinar akan terpandu dalam *core* serat optik (Keiser,1991).

2.4. Numerical Aperture

Numerical Aperture (NA) adalah ukuran kemampuan sebuah serat optik untuk menangkap cahaya, juga dipakai untuk mendefinisikan *acceptance cone* dari sebuah fiber optik. Jika medium dimana tempat cahaya memasuki serat umumnya adalah udara maka sama dengan satu sehingga NA sama dengan $\sin \theta_a$. NA digunakan untuk mengukur *source to fiber power coupling efficiencies*, NA yang benar menyatakan *source to fiber power coupling efficiencies* yang tinggi. Nilai NA untuk serat optik *step index* berkisar antara 0,2 – 0,5 dan serat optik *graded index* di sekitar 0,2 (Hoss,1993). Untuk serat optik *step index multimode* dari bahan plastik berdiameter *core* besar nilai NA antara 0,3 – 0,5 (Krohn, 2000).



Gambar 2.4 ilustrasi *Numerical Aperture*

Berdasarkan gambar diatas, pada saat $\theta = \theta_c$ cahaya sejajar sumbu serat optik, dan pada saat $\theta > \theta_c$ terjadi pantulan. Sehingga $\sin \theta_c = n_2/n_1$. Pada saat θ_0 maksimum. Sudut θ adalah sudut kritis (θ_c) sehingga:

$$n \sin \theta_{0 \max} = n_1 \sin \theta$$

dengan n adalah indeks bias udara (nilainya sama dengan 1).

Berdasarkan persamaan (2.4) maka:

$$\sin \theta_{0 \max} = n_1 \sin \left(\frac{\pi}{2} - \theta_c \right)$$

$$\sin \theta_{0 \max} = n_1 \cos \theta_c$$

$$\sin \theta_{0 \max} = n_1 \sqrt{1 - \sin^2 \theta_c}$$

$$\sin \theta_{0 \max} = n_1 \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2}$$

$$\sin \theta_{0 \max} = n_1 \sqrt{\frac{n_1^2 - n_2^2}{n_1^2}}$$

$$\sin \theta_{0 \max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2.5)$$

dan NA adalah $\sin (\theta_0 \text{ maks})$ menjadi:

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2.6)$$

Cahaya pada serat optik terdistribusi ke segenap ruang, sehingga semakin besar sudut θ_0 semakin banyak cahaya yang tertampung kedalam serat optik. *Numerical Aperture* (NA) maupun θ_0 tidak bergantung pada dimensi serat optik (Tricker, 2002).

Perbedaan nilai n_1 dan n_2 sangat kecil mengakibatkan nilai Δ juga kecil, sehingga nilai NA adalah:

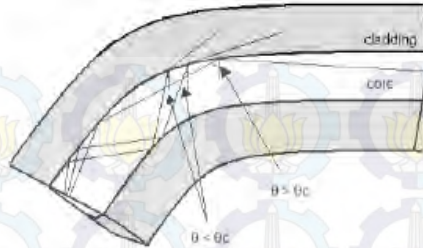
$$NA = n_1 \sqrt{2\Delta} \quad (2.7)$$

Nilai Δ berkisar 1% sampai 3% untuk serat optik *multimode* dan 0,2% sampai 1% untuk serat optik *singlemode* (Keiser, 1984).

2.5. Rugi-Rugi Lekukan Serat Optik

Pada saat pemasangan serat optik pada satu saluran transmisi akan ada beberapa kondisi yang akan mengubah keadaan fisik dari serat optik tersebut, misalnya dalam kondisi daerah yang berkelok-kelok dan mengharuskan kabel dipasang dengan lekukan. Selain itu, tekanan secara fisis dari lingkungan maupun kesalahan instalasi juga akan berpengaruh dalam mengubah kondisi fisik serat optik. Perubahan fisik ini biasanya disebut bending (lekukan yang menyebabkan rugi-rugi dalam fiber) dan terdiri dari dua jenis, yaitu lekukan-mikro (*microbending*) dan lekukan-makro (*macrobending*). Keduanya timbul karena alasan yang berbeda, dan menimbulkan rugi-rugi dengan dua macam mekanisme yang berbeda pula (M. Syamsul Hadi, 2002).

Lekukan-makro adalah lekukan kabel optik dengan radius lekukan yang mempengaruhi banyaknya pelemahan sinyal yang berpropagasi dalam inti. Adanya lekukan dengan radius lekukan lebih besar dari radius inti serat optik mengakibatkan sebagian sinyal hilang terutama dalam lekukan serat optik (Andre, 2006). Jari-jari lekukan ketika mulai terjadi perubahan signifikan pada besar rugi-rugi *macrobending* disebut dengan *critical radius* (Lemlem, 2012). Apabila serat optik melengkung, maka bagian dalam serat optik termampatkan dan bagian luar menjadi tertarik lebih panjang sehingga kepadatan material berubah. Hal tersebut mengakibatkan berubahnya indeks bias dan akan mengakibatkan perubahan lintasan penjaran suatu sinyal (Lau, 1981). Sudut pemantulan total akan berubah ketika serat optik di lekukan dan akan terjadi rugi-rugi dimana sudut datang sinar lebih kecil dari pada sudut kritis sehingga sinar tidak dipantulkan sempurna tapi dibiaskan. Pada gambar 2.5, dapat dilihat penjaran cahaya ketika fiber optik dilengkungkan.



Gambar 2.5 Skema *macrobending* pada serat optik. (Andre, 2006)

Secara *empiris*, *macrobending loss* dapat diekspresikan sebagai berikut:

$$\gamma_{bend} = 10 \log \frac{\alpha+2}{(2\alpha)\left(\frac{a}{R\Delta}\right)} \quad (2.8)$$

Dimana Δ = beda indeks bias *core* dan *cladding*

R = radius pelengkungan

a = radius inti serat optik

$$\alpha = \begin{cases} 2 & (\text{parabolic profile}) \\ \infty & (\text{step profile}) \end{cases}$$

Lekukan-mikro adalah suatu lekukan mikroskopik dari inti fiber yang disebabkan oleh laju penyusutan thermal yang sedikit berbeda antara bahan inti dan bahan pelapis. Lekukan mikro dapat juga timbul bila fiber berulang kali digulung menjadi suatu kabel fiber majemuk atau bila digulung pada kelos-kelos untuk memudahkan pengangkutannya. Makin tajam lekukan dibuat, makin banyak pula ragam-ragam yang terlepas pada lekukan (Andre,2006).

2.6. Optikal Power Meter (OPM)

OPM adalah salah satu alat ukur pada jaringan lokal *fiber optik*. OPM berfungsi untuk mengukur jumlah redaman dalam satuan *decibel* (dB) yang terdapat pada jaringan kabel serat optik baik saat instalasi (uji akhir) atau pemeliharaan. Satuan decibel (dB) tidak absolute karena hanya membandingkan level masukan

dan keluaran suatu system. Untuk satuan absolute adalah sebagai berikut:

1. dBm : menyatakan perbandingan antara level suatu sinyal yang diukur dengan sinyal referensi 1 mW.

$$P(\text{dBm}) = 10 \log \frac{P_1}{1 \text{ mW}} \quad (2.9)$$

2. dBW : menyatakan level daya terhadap referensi daya 1 Watt.

$$\text{Daya (dBW)} = 10 \log \frac{P (\text{Watt})}{1 \text{ Watt}}$$

Redaman diukur dalam satuan decibel (dB). Loss atau redaman dinyatakan:

$$\text{Loss} = P_{\text{out}} - P_{\text{in}} \quad (2.10)$$

Atau

$$\text{Loss} = 10 \log \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \quad (2.11)$$

Dengan:

Loss = besarnya redaman atau daya yang hilang (dB)

P_{in} = daya masukan

P_{out} = daya keluaran

Jika daya keluaran lebih kecil dari daya masukan maka persamaan (2.11) menjadi negatif (J.laferriere dkk.2011).



Gambar 2.6 alat OPM tipe OLP-35 dan OLS-35

Salah satu tipe dari *Optikal Power Meter* adalah OLP-35. OPM tipe OLP-35 ini di optimalkan untuk standart aplikasi jaringan telekomunikasi. OPM ini menggunakan bahan semikonduktor *photodetector* jenis *Indium Gallium Arsenide* (InGaAs) yang digunakan pada panjang gelombang 1310 nm dan 1550 nm. Ketika yang digunakan OLP-35 maka terdapat OLS (*Optikal Light Source*) yang bertipe sama yaitu OLS-35. Berikut ini adalah spesifikasi dari OPM tipe OLP-35:

Table 2.2: Spesifikasi OLP-35 (testequipmentdepot)

	OLP-35
Tipe detektor	<i>Indium Gallium Arsenide</i> (InGaAs)
Range panjang gelombang	780-1650 nm
Kalibrasi panjang gelombang	1300,1310,1550, dan 1625 nm
Power range	-65 sampai +10 dBm
Display range	-65 sampai +10 dBm
Maksimum daya masukan	+16 dBm
Unit pengukuran	dB, dBm, W
Linearitas	$\pm 0,06$ dB (-50 hingga + dBm)
Keditakpastian absolut	$\pm 0,2$ dB ($\pm 5\%$)

Tabel 2.3 Spesifikasi Optik Power Source (OLS-35)

Tipe sumber	Laser
Tipe antarmuka optik	PC (1 port untuk seluruh panjang gelombang)
Konektor antar muka optik	LC, FC, SC
Panjang gelombang	1310 nm (± 20 nm), 1550 nm (± 20 nm)
Lebar spektrum	< 5 nm
Daya keluaran	-7 dBm
Kestabilan jangka pendek (15 menit)	$\pm 0,02$ dB
Kestabilan jangka panjang (8 jam)	$\pm 0,05$ dB

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Peralatan dan Bahan

3.1.1 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Selotip
2. Gunting dan *cutter*
3. Kertas gosok 1200 mess
4. *Optikal power meter* (OPM) tipe OLP-3
5. *Optikal Power Source* tipe OLS-35 dengan panjang gelombang 1550 nm dan 1310 nm
6. Penggaris
7. Bolpoint
8. Kertas
9. Mikroskop

3.1.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Fiber optik jenis *multimode graded index silica* tipe G-651 dengan diameter *core* 62,5 μm dan diameter *cladding* 125 μm .
2. Konektor tipe FC (*Fiber Connector*)
3. Alkohol 70%
4. tissu

3.2 Diagram Kerja Penelitian

Alur kerja dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar

3.1 sebagai berikut:



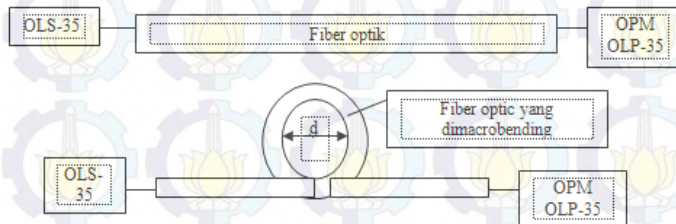
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.3 Prosedur Kerja

3.3.1 Perancangan Percobaan

Percobaan ini ada 3 bagian yaitu tahap pelengkungan, tahap pelukaan pada fiber, dan tahap pelukaan fiber kemudian dilekukan. Variasi diameter lengkungan yang digunakan adalah 3 cm, 4 cm, 5 cm, 6 cm, 9 cm, 12 cm, 27 cm. variasi panjang pelukaan fiber yang digunakan adalah 0.5 cm, 1 cm, 1.5 cm, 2 cm, dan 2.5 cm. kemudian pada tahap

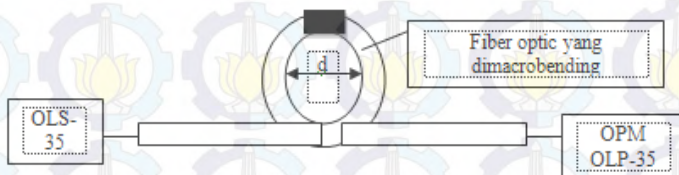
pelukaan dan lekukan itu menggunakan variasi panjang pelukaan dan diameter lengkungan yang sama seperti tahap sebelumnya yaitu tahap pelengkungan dan tahap pelukaan. Berikut ini skema penelitian



Gambar 3.2 tahap pelengkungan



Gambar 3.3 tahap pelukaan pada fiber

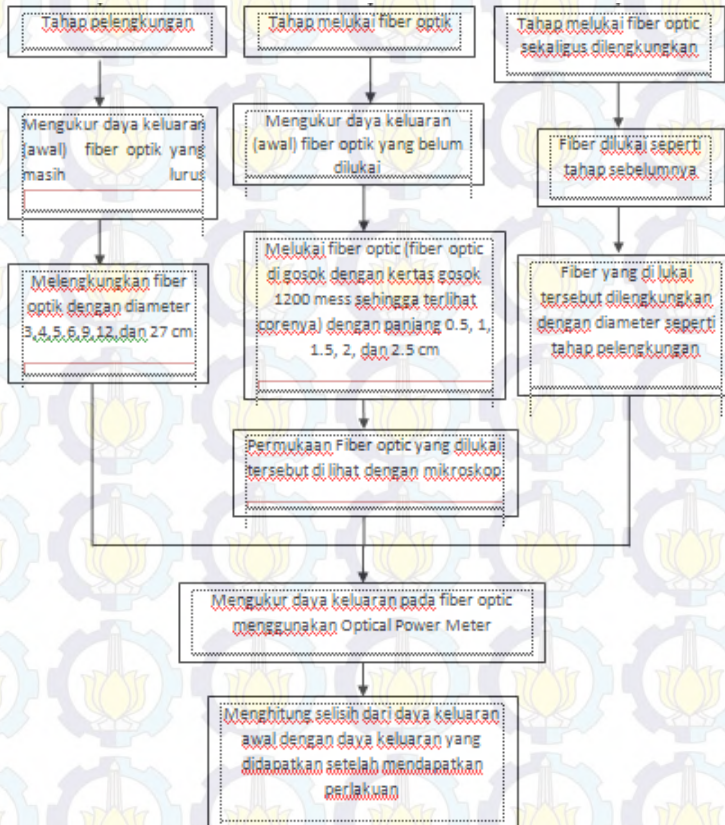


Gambar 3.4 tahap pelukaan pada fiber dan dilekukan

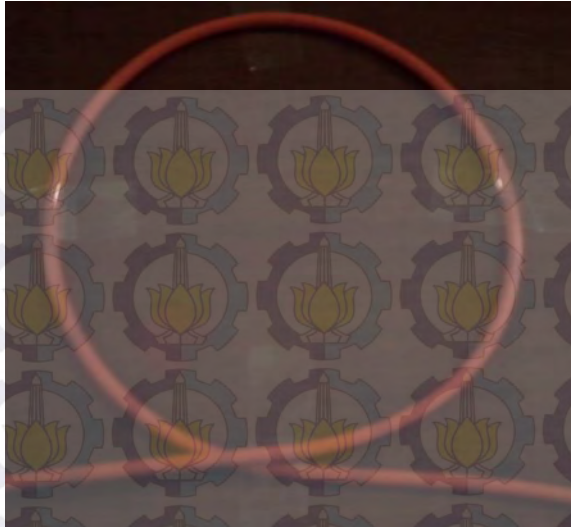
3.3.2 Pengujian dengan Variasi Panjang Pelukaan dan Diameter Lengkungan

Tujuan dari tahap ini adalah untuk mengetahui pengaruh diameter *bending* terhadap nilai rugi daya dan pengaruh panjang pelukaan terhadap nilai rugi daya serta pengaruh fiber yang dilukai dan kemudian dilekukan terhadap nilai rugi daya. Pada tahap ini diameter lengkungan yang digunakan adalah 3 cm, 4 cm, 5 cm, 6 cm, 9 cm, 12 cm, dan 27 cm. panjang pelukaan yang digunakan adalah 0.5 cm, 1 cm, 1.5 cm, 2 cm, 2.5 cm. panjang gelombang yang digunakan adalah 1550 nm dan 1310 nm. Kemudian pada tahap pelengkungan

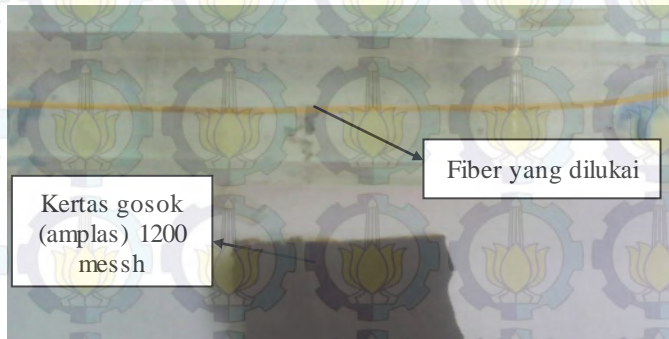
dilakukan pengulangan sebanyak 10 kali. Pada tahap pelukaan pada fiber dilakukan pengulangan sebanyak 5 kali. Dan pada tahap pelukaan pada fiber dan dilekukan itu dilakukan pengulangan sebanyak 5 kali. Berikut ini adalah diagram alir pengujian:



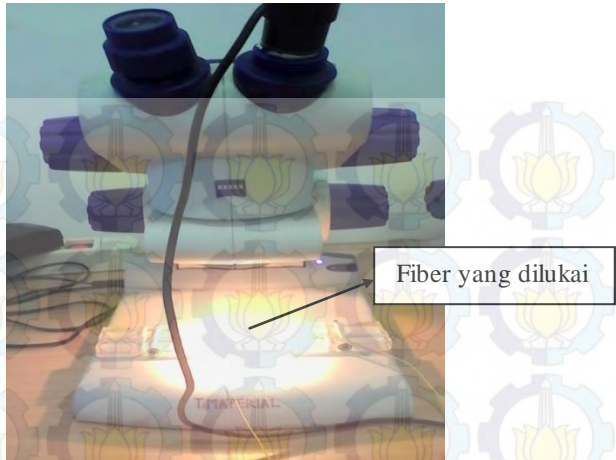
Gambar 3.5 Diagram alir pengujian



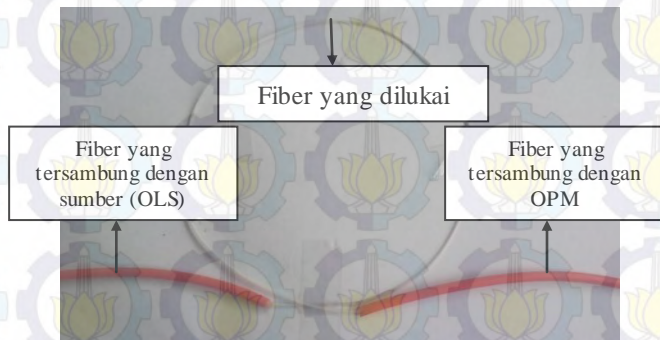
Gambar 3.6 perlakuan pelengkungan pada fiber



Gambar 3.7 perlakuan pelukaan pada fiber



Gambar 3.8 fiber diamati dengan mikroskop setelah fiber sudah dilukai



Gambar 3.9 perlakuan pelukaian sekaligus pelengkungan pada fiber



Gambar 3.10 Optikal Power Meter tipe OLP-35 untuk mengukur nilai rugi daya



Gambar 3.11 Optikal Power Source tipe OLS-35 yang digunakan untuk penelitian

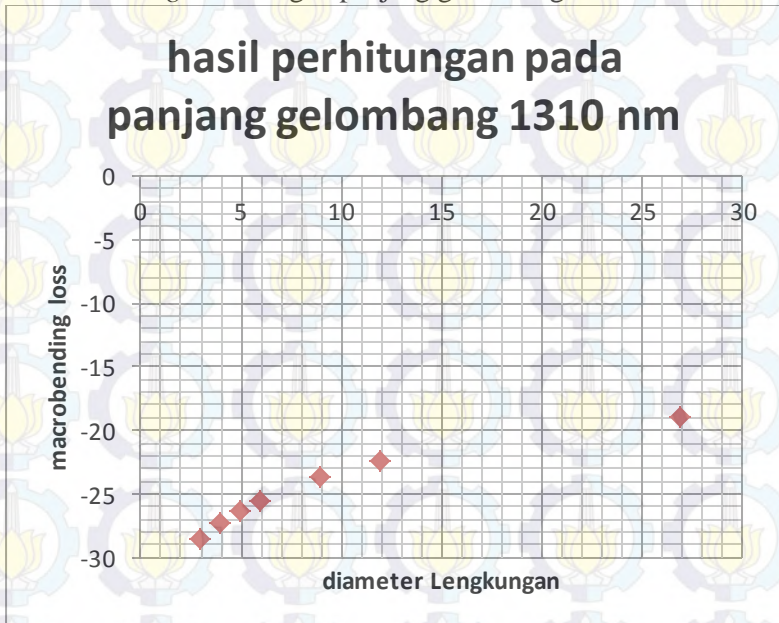
Optikal Power Meter dan Optikal Power Source yang digunakan pada penelitian ini dengan merk JDSU. Optikal Power Source yang digunakan adalah tipe OLS-35 berfungsi memancarkan sinar laser sebagai sumber cahaya dengan panjang gelombang yang digunakan pada penelitian adalah 1550 nm dan 1310 nm. Optikal Power Meter yang digunakan untuk mengamati nilai keluaran daya fiber optik, pada penelitian ini daya keluaran yang terdeteksi diukur menggunakan satuan μW .

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Pengaruh Variasi Diameter Lekukan terhadap Nilai Daya Keluaran

4.1.1 Hasil perhitungan macrobending loss pada panjang gelombang 1310 nm

Variasi diameter lekukan yang digunakan pada penelitian ini adalah 3 cm, 4 cm, 5 cm, 6 cm, 9 cm, 12 cm, 27cm. *macrobending loss* ini dapat dihitung menggunakan persamaan 2.8. Berikut ini merupakan grafik hasil perhitungan *macrobending loss* dengan panjang gelombang sumber 1310 nm:



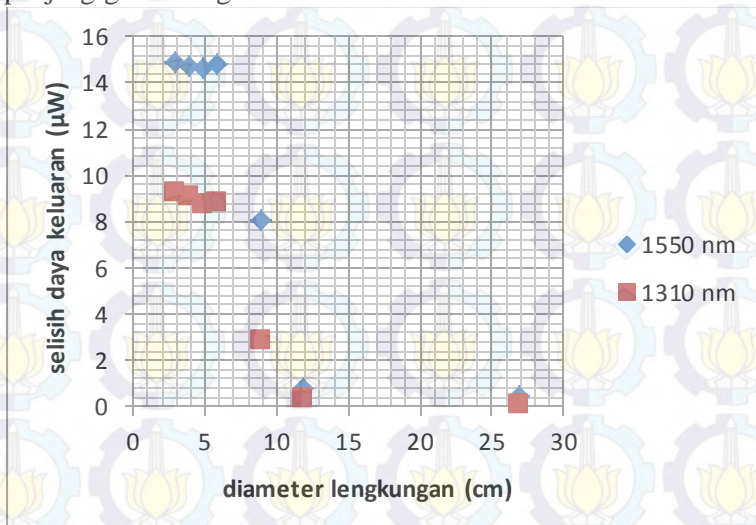
Gambar 4.1 grafik hasil perhitungan macrobending loss pada panjang gelombang 1310 nm

Berdasarkan gambar 4.1 yang menggambarkan hasil perhitungan *macrobending loss* pada panjang gelombang 1310

nm, didapatkan bahwa semakin besar diameter lengkungan maka *macrobending loss*-nya semakin kecil. Dan begitupun sebaliknya semakin kecil diameter lengkungannya maka semakin besar *macrobending loss*-nya.

4.1.2 Hasil pengukuran macrobending loss pada panjang gelombang 1310 nm dan 1550 nm

Variasi diameter lekukan yang digunakan pada penelitian ini adalah 3 cm, 4 cm, 5 cm, 6 cm, 9 cm, 12 cm, 27cm. daya keluaran pada power meter diukur pada setiap perubahan diameter lekukan dan perubahan sumber cahaya. Berikut ini merupakan grafik yang membandingkan perubahan diameter lekukan terhadap selisih daya keluaran dengan panjang gelombang sumber 1310 nm dan panjang gelombang 1550 nm:



Gambar 4.2 grafik hubungan diameter lekukan dengan selisih daya keluaran dengan panjang gelombang 1550 nm dan 1310 nm

Selisih daya keluaran yang dimaksud pada grafik diatas adalah selisih antara daya keluaran sebelum fiber diberi dilekukan dan daya keluaran ketika fiber sudah dilekukan. Berdasarkan

gambar 4.2 yang menggambarkan hubungan diameter lengkungan dengan selisih daya keluaran terlihat bahwa diameter lengkungan atau lekukan 3cm memiliki nilai selisih daya keluaran yang paling besar jika dibandingkan dengan panjang kupasan yang lainnya yaitu 4 cm, 5 cm, 6 cm, 9 cm, 12 cm, 27 cm, baik untuk panjang gelombang 1550 nm maupun 1310 nm. Sedangkan diameter lengkungan sebesar 27cm memiliki selisih daya keluaran yang paling kecil diantara ketujuh diameter lekukan tersebut, baik untuk panjang gelombang 1550 nm maupun 1310 nm. Hal ini dikarenakan pada diameter lekukan sebesar 27 cm memiliki daya keluaran yang hampir mendekati dari daya awal ketika fiber masih lurus dalam artian fiber belum diberi perlakuan (dilengkungkan), sehingga menyebabkan selisih daya keluaran semakin kecil dibandingkan dengan keenam diameter lekukan yang lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar diameter lengkungan maka daya keluaran yang ditangkap *detector* juga semakin besar sehingga hal ini menyebabkan selisih daya keluaran (daya keluaran awal sebelum dilengkungkan – daya keluaran fiber setelah dilengkungkan) semakin kecil, dengan kata lain nilai rugi dayanya semakin kecil. Hal ini sama atau cocok dengan hasil perhitungan diatas (gambar 4.1 grafik hasil perhitungan). Sehingga dapat dikatakan bahwa pada diameter lengkungan 27 cm nilai sensitivitas terhadap lengkungan pada fiber optik multimode silica ini sangat kecil.

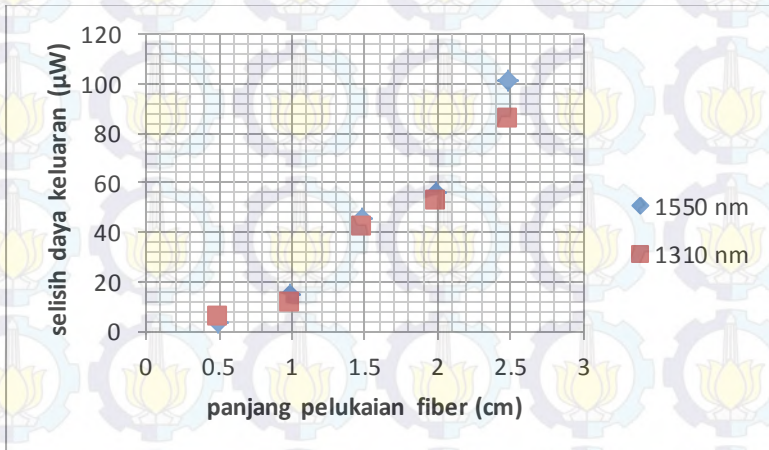
Pada dasarnya fiber optik yang masih belum dilekukan atau masih dalam keadaan lurus itu sudah mengalami rugi-rugi. Rugi-rugi itu datang dari dalam fiber optik itu sendiri seperti halnya rugi dikarenakan tidak meratanya komposisi bahan *core*, yang menyebabkan penghamburan cahaya optik.

Dalam hal lekukan fiber optik, cahaya yang mengalami refraksi tidak akan dirambatkan didalam fiber optik karena sudut datang cahaya lebih kecil dari sudut kritis. Tetapi pada kenyataannya, dengan bertambahnya besar lekukan atau pembengkokan, daya tidak akan hilang seluruhnya, melainkan hanya turun sampai pada batas pembengkokan tertentu.hal ini

berkaitan dengan kemampuan serat optik untuk memerangkap cahaya yang datang, yaitu NA.

4.2 Analisa Pengaruh Variasi Panjang Pelukaan Fiber Terhadap Nilai Daya Keluaran

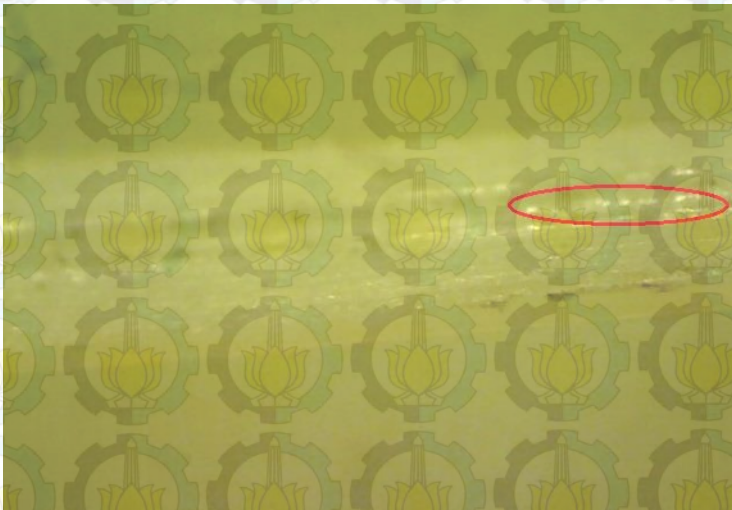
Variasi panjang pelukaan pada fiber yang digunakan pada penelitian ini adalah 0.5 cm, 1 cm, 1.5 cm, 2 cm, 2.5 cm. Daya keluaran pada power meter diukur pada setiap perubahan panjang pelukaan pada fiber dan perubahan sumber cahaya. Berikut ini merupakan grafik yang membandingkan perubahan panjang pelukaan pada fiber terhadap selisih daya keluaran dengan panjang gelombang sumber 1310 nm dan panjang gelombang 1550 nm:



Gambar 4.3 grafik hubungan panjang pelukaan pada fiber dengan selisih daya keluaran dengan panjang gelombang 1550 nm dan 1310 nm



Gambar 4.4 Permukaan fiber optik yang telah dilukai sepanjang 0.5 cm



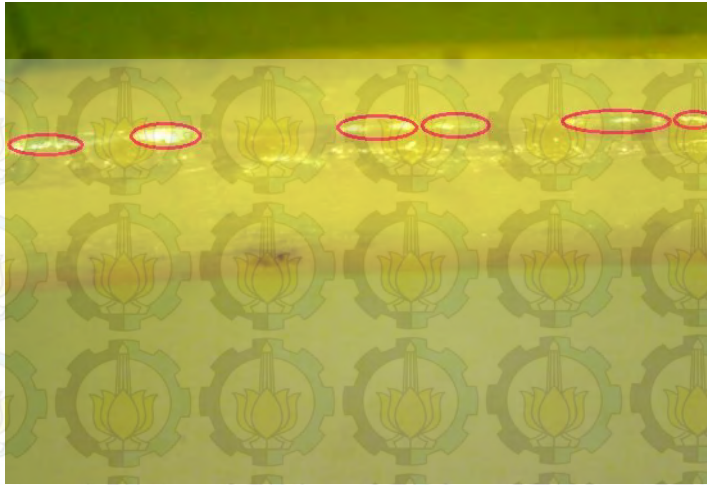
Gambar 4.5 Permukaan fiber optik yang telah dilukai sepanjang 1 cm



Gambar 4.6 Permukaan fiber optik yang telah dilukai sepanjang 1.5 cm



Gambar 4.7 Permukaan fiber optik yang telah dilukai sepanjang 2 cm



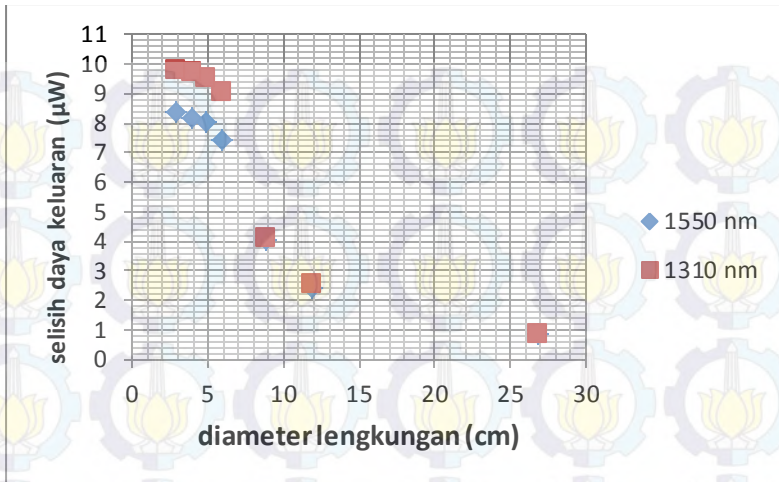
Gambar 4.8 Permukaan fiber optik yang telah dilukai sepanjang 2.5 cm

Berdasarkan gambar 4.3 yang menggambarkan hubungan panjang pelukaan pada fiber dengan selisih daya keluaran terlihat bahwa panjang pelukaan pada fiber sebesar 0.5 cm memiliki nilai selisih daya keluaran yang paling kecil jika dibandingkan dengan panjang pelukaan pada fiber lainnya, baik untuk panjang gelombang 1550 nm maupun 1310 nm. Sedangkan panjang pelukaan pada fiber sebesar 2.5 cm memiliki selisih daya keluaran yang paling besar diantara yang lainnya, baik untuk panjang gelombang 1550 nm maupun 1310 nm. Hal ini dikarenakan pada panjang pelukaan sebesar 2.5 cm memiliki daya keluaran yang terdeteksi pada *detector* sangat kecil dari pada daya awal ketika fiber masih lurus dan belum dilukai, sehingga menyebabkan selisih daya keluaran (daya awal sebelum dilukai – daya keluaran fiber yang sudah dilukai) semakin besar dibandingkan dengan keempat panjang pelukaan yang lainnya. Hal ini menunjukkan semakin besar panjang pelukaan pada fiber akan menyebabkan daya keluaran yang ditangkap *detector* semakin kecil sehingga hal ini menyebabkan selisih daya

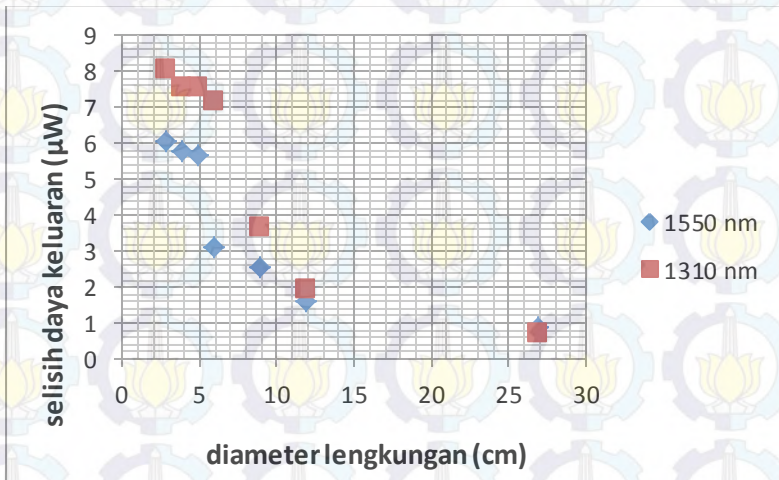
keluaran semakin besar, dengan kata lain nilai rugi dayanya semakin besar pula. Pada panjang pelukaan fiber sebesar 2.5 cm mengalami penurunan daya yang di tangkap oleh *detector* yang sangat dratis. Hal ini terjadi dikarenakan pada proses pelukaianya dimana permukaan fiber yang dilukai sebesar 2.5 cm ini mengalami pelukaan yang cukup bagus, dalam hal ini inti fiber atau core banyak yang terlihat (ditandai lingkaran merah) pada gambar 4.8 dibandingkan dengan panjang pelukaan pada fiber yang lainnya (gambar 4.4 sampai gambar 4.7) dan hal itu terjadi bisa juga dikarenakan kesalahan pada saat pengambilan data.

4.3 Analisa Pengaruh Variasi diameter lengkungan dan Panjang Pelukaan Fiber Terhadap Nilai Daya Keluaran

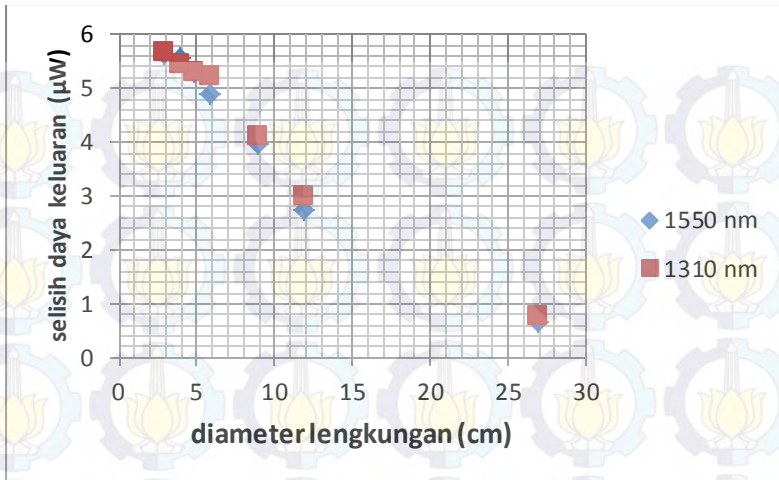
Variasi panjang pelukaan pada fiber dan diameter lengkungan yang digunakan pada penelitian ini adalah sama seperti yang sebelumnya dilakukan. Daya keluaran pada power meter diukur pada setiap perubahan diameter lengkungan dan panjang pelukaan pada fiber dan perubahan sumber cahaya. Berikut ini merupakan grafik yang membandingkan perubahan panjang pelukaan pada fiber dan dilekukan terhadap selisih daya keluaran dengan panjang gelombang sumber 1310 nm dan panjang gelombang 1550 nm:



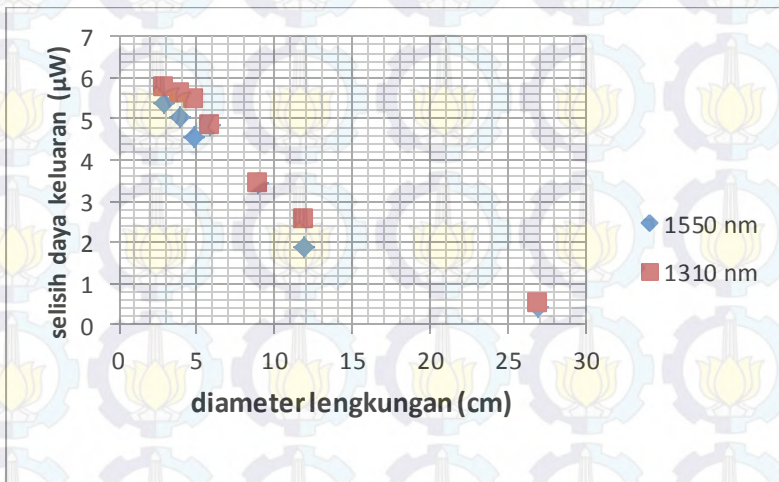
Gambar 4.9 grafik hubungan panjang pelukaian pada fiber sebesar 0.5 cm dan ditekuk dengan selisih daya keluaran



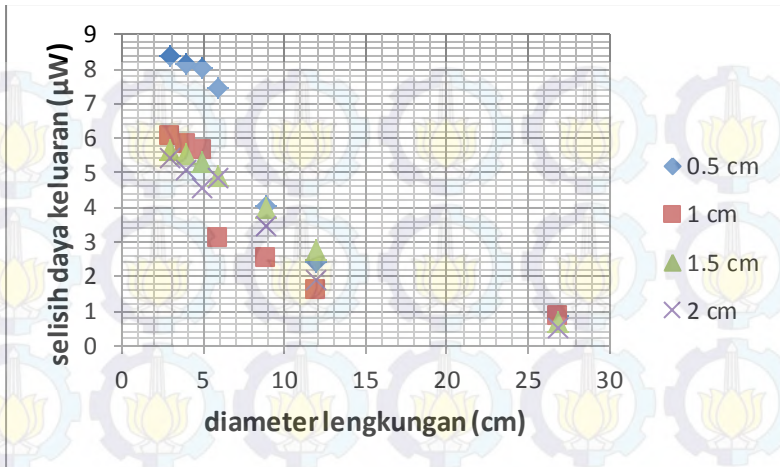
Gambar 4.10 grafik hubungan panjang pelukaian pada fiber sebesar 1 cm dan ditekuk dengan selisih daya keluaran



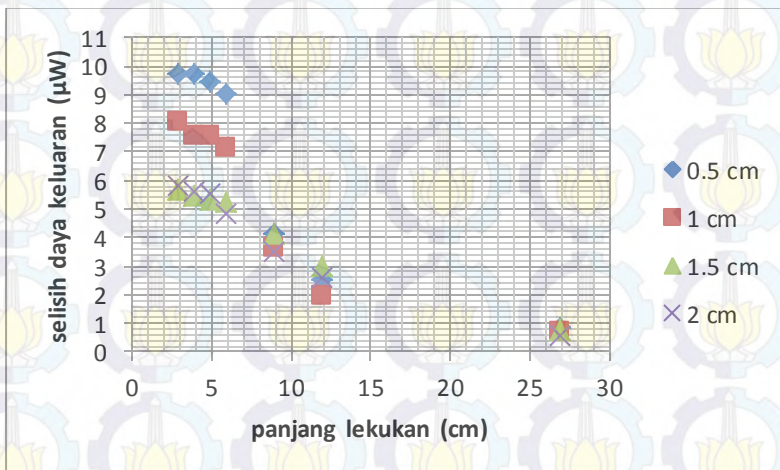
Gambar 4.11 grafik hubungan panjang pelukaian pada fiber sebesar 1.5 cm dan dilekukan dengan selisih daya keluaran



Gambar 4.12 grafik hubungan panjang pelukaian pada fiber sebesar 2 cm dan dilekukan dengan selisih daya keluaran



Gambar 4.13 grafik hubungan panjang pelukaan pada fiber dan dilekukan dengan selisih daya keluaran dengan panjang gelombang 1550 nm



Gambar 4.14 grafik hubungan panjang pelukaan pada fiber dan dilekukan dengan selisih daya keluaran dengan panjang gelombang 1310 nm

Berdasarkan gambar 4.9 sampai dengan gambar 4.12 yang menggambarkan hubungan panjang pelukaan pada fiber dan dilekukan dengan selisih daya keluaran terlihat bahwa pada panjang gelombang 1550 memiliki nilai selisih daya keluaran yang paling kecil dari pada pada panjang gelombang 1310 nm. Hal ini berarti pada panjang gelombang 1310 nm nilai rugi daya yang terdeteksi lebih besar daripada panjang gelombang 1550 nm. Hal ini menunjukkan bahwa pada panjang gelombang 1310 nm memiliki sensitivitas lebih tinggi dibanding dengan sensitivitas dari serat optik dengan pemberian panjang gelombang 1550 nm. Hal ini membuktikan bahwa panjang gelombang sumber yang digunakan mempengaruhi moda-moda yang merambat pada serat optik. Moda sendiri yaitu banyaknya berkas cahaya yang dipancarkan oleh sumber optik berdasarkan panjang gelombang yang berbeda-beda pada masing-masing berkas.

Dan juga berdasarkan pada gambar 4.9 sampai 4.12 menggambarkan bahwa semakin besar diameter lengkungan maka semakin kecil nilai rugi dayanya. Hal ini seperti pada pembahasan 4.2. dimana pada hal ini fiber di lukai sekaligus dilengkungkan. Nilai rugi daya yang dihasilkan pada fiber yang telah dilukai sekaligus dilengkungkan lebih kecil (menurun) dari pada fiber nilai rugi daya yang hanya dilengkungkan saja dan nilai rugi daya yang hanya dilukai saja. Hal ini dikarenakan pada fiber yang dilukai sekaligus yang dilengkungkan itu memiliki rugi-rugi yang terdapat pada 2 aspek yaitu rugi fiber yang dilukai dan rugi daya fiber yang dilengkungkan. Pada dasarnya fiber optik yang masih belum dilekukan atau masih dalam keadaan lurus dan fiber yang belum dilukai itu sudah mengalami rugi-rugi. Rugi-rugi itu datang dari dalam fiber optik itu sendiri seperti halnya rugi dikarenakan tidak meratanya komposisi bahan *core*, yang menyebabkan penghamburan cahaya optik. Apalagi fiber itu diberi perlakuan seperti dilengkungkan ataupun dilukai maka akan mengalami rugi rugi yang lebih besar dari rugi-rugi yang belum diberi perlakuan.

Pada gambar 4.13 dan 4.14 yang menggambarkan bahwa pada selisih daya keluaran terlihat bahwa pada panjang gelombang 1550 memiliki nilai selisih daya keluaran yang paling besar adalah pada panjang pelukaan fiber 0.5 cm jika dibandingkan dengan panjang pelukaan pada fiber lainnya. Sedangkan pada panjang gelombang 1310 memiliki nilai selisih daya keluaran yang paling besar adalah pada panjang pelukaan fiber 0.5 cm jika dibandingkan dengan panjang pelukaan pada fiber lainnya. Hal itu terjadi bisa saja karena proses pelukaan pada fiber tersebut tidaklah sempurna dan masih banyak fiber yang inti fiber tersebut masih tertutup dengan *cladding*nya seperti yang terlihat pada gambar 4.4 sampai gambar 4.7. Dan hal itu bisa saja terjadi dikarenakan kesalahan pada saat mengambil data. Pada panjang pelukaan fiber yang digunakan pada tahap ini yaitu tahap pelukaan sekaligus pelengkungan hanya sampai pada panjang pelukaan fiber sebesar 2cm karena pada panjang 2.5 cm daya yang di tangkap oleh *detector* mengalami penurunan yang sangat dratis. Sehingga memiliki rugi daya yang sangat besar. Maka pada tahap ini pelukaan pada fiber dengan panjang 2.5 tidak dipergunakan.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan:

1. Semakin besar diameter lengkungan maka daya keluaran yang ditangkap *detector* juga semakin besar. Hal ini akan menyebabkan selisih daya keluaran semakin kecil atau dengan kata lain nilai rugi dayanya semakin kecil pula., begitupun sebaliknya.
2. Semakin besar panjang pelukaan pada fiber maka daya keluaran yang ditangkap *detector* semakin kecil. hal ini akan menyebabkan selisih daya keluaran semakin besar atau dengan kata lain nilai rugi dayanya semakin besar pula. Begitupun sebaliknya.

5.2 Saran

Dari hasil penulisan tugas akhir ini disarankan:

1. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk lebih memvariasi diameter lengkungan dan panjang pelukaan sehingga didapatkan nilai sensitivitas yang baik.
2. Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan pengganti *cladding* selain udara pada tahap pelukaan 1 sisi pada fiber.



DAFTAR PUSTAKA

- Azadeh, M. 2009. **Fiber Optics Engineering**. New York. Springer Science and Business Media.
- Dewi, M. S., 2010. **Kajian Karakteristik Rugi-Rugi pada Serat Optik Telkom karena Pembengkokan Makro**, Surakarta.
- Djohan, N., 2009, **Soliton dalam Serat Optik**. Jakarta.
- Frederick, C.A., 1990, **Fiber Optics Handbook For Engineers and Scientists**, McGraw-Hill, Inc., New York.
- Hoss, R.J. 1993. *Fiber Optics, second edition*. New Jersey-Hall
- Keiser, G. 1984. **Optical Fiber Communication**. New York. McGraw Hill.
- Keiser, G. 1991. **Optical Fiber Communication 2rd Edition**. United State of America.
- Krohn, D.A. 2000. **Fiber Optik sensor, Fundamental and application, 3rd**. New York: ISA.
- Nugroho, D. Y. 2005. **Studi Pengukuran Rugi-Rugi Serat Optik pada Empat rute STO di Jawa Tengah dengan menggunakan OTDR tektonik TF S3031**. Skripsi jurusan fisika FMIPA Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Saleh, B.E.A., Teich, M.C., 2007, **Fundamentals of Photonics**. John Wiley & Sons, New York.
- Suematzu, Y. 1982. **introduction to optical fiber communication**. John Wiley & sons, inc
- Tricker, R., 2002, **Optoelectronic and Fiber Optik Technology**, Jordan Hill, Oxford.
- [http: assets.newport.com/ Photonics Technical Note # 25 Fiber Optics](http://assets.newport.com/Photonics%20Technical%20Note%20#25%20Fiber%20Optics).
- http://www.testequipmentdepot.com/jdsu /olp-3x_datasheet.pdf



LAMPIRAN A

1. Hasil pengukuran daya keluaran pada tahap pelengkungan dengan panjang gelombang 1310 nm dan 1550 nm

A. Hasil pengukuran daya keluaran pada panjang gelombang 1550 nm dengan diameter lengkungan sebesar 3 cm, 4 cm, 5 cm, 6 cm, 9 cm, 12 cm, 27 cm.

Tabel A 1. Data awal daya keluaran fiber optik yang dilengkungkan

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μW)	daya keluaran awal (μW)	selisih daya keluaran (μW)
27	105.1	105.5	0.4
12	104.6	105.3	0.7
9	97.72	105.7	7.98
6	91.23	106	14.77
5	90.78	105.3	14.52
4	90.63	105.3	14.67
3	90.48	105.3	14.82

Tabel A 2. Data pengulangan ke-1 daya keluaran fiber optik yang dilengkungkan

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μW)	daya keluaran awal (μW)	selisih daya keluaran (μW)
27	105.1	105.5	0.4
12	104.6	105.3	0.7
9	97.72	105.7	7.98
6	91.23	106	14.77

5	90.78	105.3	14.52
4	90.63	105.3	14.67
3	90.48	105.3	14.82

Tabel A 3. Data pengulangan ke-2 daya keluaran fiber optik yang dilengkungkan

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μ W)	daya keluaran awal (μ W)	selisih daya keluaran (μ W)
27	105.1	105.5	0.4
12	104.6	105.3	0.7
9	97.72	105.7	7.98
6	91.2	106	14.8
5	90.76	105.3	14.54
4	90.63	105.3	14.67
3	90.46	105.3	14.84

Tabel A 4. Data pengulangan ke-3 daya keluaran fiber optik yang dilengkungkan

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μ W)	daya keluaran awal (μ W)	selisih daya keluaran (μ W)
27	105	105.5	0.5
12	104.6	105.3	0.7
9	97.72	105.7	7.98
6	91.23	106	14.77
5	90.76	105.3	14.54
4	90.63	105.3	14.67
3	90.46	105.3	14.84

Tabel A 5. Data pengulangan ke-4 daya keluaran fiber optik yang dilengkungkan

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μ W)	daya keluaran awal (μ W)	selisih daya keluaran (μ W)
27	105	105.5	0.5
12	104.4	105.3	0.9
9	97.7	105.7	8
6	91.23	106	14.77
5	90.76	105.3	14.54
4	90.6	105.3	14.7
3	90.46	105.3	14.84

Tabel A 6. Data pengulangan ke-5 daya keluaran fiber optik yang dilengkungkan

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μ W)	daya keluaran awal (μ W)	selisih daya keluaran (μ W)
27	105.1	105.5	0.4
12	104.4	105.3	0.9
9	97.7	105.7	8
6	91.2	106	14.8
5	90.76	105.3	14.54
4	90.6	105.3	14.7
3	90.45	105.3	14.85

Tabel A 7. Data pengulangan ke-6 daya keluaran fiber optik yang dilengkungkan

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μ W)	daya keluaran awal (μ W)	selisih daya keluaran (μ W)
27	104.9	105.5	0.6

12	104.6	105.3	0.7
9	97.67	105.7	8.03
6	91.2	106	14.8
5	90.72	105.3	14.58
4	90.57	105.3	14.73
3	90.45	105.3	14.85

Tabel A 8. Data pengulangan ke-7 daya keluaran fiber optik yang dilengkungkan

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μ W)	daya keluaran awal (μ W)	selisih daya keluaran (μ W)
27	104.9	105.5	0.6
12	104.1	105.3	1.2
9	97.67	105.7	8.03
6	91.2	106	14.8
5	90.72	105.3	14.58
4	90.57	105.3	14.73
3	90.45	105.3	14.85

Tabel A 9. Data pengulangan ke-8 daya keluaran fiber optik yang dilengkungkan

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μ W)	daya keluaran awal (μ W)	selisih daya keluaran (μ W)
27	105	105.5	0.5
12	103.9	105.3	1.4
9	97.67	105.7	8.03
6	91.2	106	14.8
5	90.72	105.3	14.58
4	90.57	105.3	14.73

3	90.45	105.3	14.85
---	-------	-------	-------

Tabel A 10. Data pengulangan ke-9 daya keluaran fiber optik yang dilengkungkan

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μW)	daya keluaran awal (μW)	selisih daya keluaran (μW)
27	105	105.5	0.5
12	103.9	105.3	1.4
9	97.67	105.7	8.03
6	91.2	106	14.8
5	90.72	105.3	14.58
4	90.57	105.3	14.73
3	90.45	105.3	14.85

B. Hasil pengukuran daya keluaran pada panjang gelombang 1310 nm dengan diameter lengkungan sebesar 3 cm, 4 cm, 5 cm, 6 cm, 9 cm, 12 cm, 27 cm.

Tabel B 1. Data awal daya keluaran fiber optik yang dilengkungkan

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μW)	daya keluaran awal (μW)	selisih daya keluaran (μW)
27	80.83	80.85	0.02
12	80.53	80.83	0.3
9	78.18	81	2.82
6	72.45	81.2	8.75
5	72.1	80.8	8.7
4	71.76	80.79	9.03
3	71.6	80.79	9.19

Tabel B 2. Data pengulangan ke-1 daya keluaran fiber optik yang dilengkungkan

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μ W)	daya keluaran awal (μ W)	selisih daya keluaran (μ W)
27	80.83	80.85	0.02
12	80.53	80.83	0.3
9	78.18	81	2.82
6	72.45	81.2	8.75
5	72.1	80.8	8.7
4	71.76	80.79	9.03
3	71.6	80.79	9.19

Tabel B 3. Data pengulangan ke-2 daya keluaran fiber optik yang dilengkungkan

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μ W)	daya keluaran awal (μ W)	selisih daya keluaran (μ W)
27	80.83	80.85	0.02
12	80.53	80.83	0.3
9	78.18	81	2.82
6	72.45	81.2	8.75
5	72	80.8	8.8
4	71.78	80.79	9.01
3	71.6	80.79	9.19

Tabel B 4. Data pengulangan ke-3 daya keluaran fiber optik yang dilengkungkan

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μ W)	daya keluaran awal (μ W)	selisih daya keluaran (μ W)
--------------------------------	--------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------

27	80.59	80.85	0.26
12	80.42	80.83	0.41
9	78.18	81	2.82
6	72.45	81.2	8.75
5	72.1	80.8	8.7
4	71.76	80.79	9.03
3	71.6	80.79	9.19

Tabel B 5. Data pengulangan ke-4 daya keluaran fiber optik yang dilengkungkan

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μ W)	daya keluaran awal (μ W)	selisih daya keluaran (μ W)
27	80.59	80.85	0.26
12	80.43	80.83	0.4
9	78.13	81	2.87
6	72.43	81.2	8.77
5	72	80.8	8.8
4	71.76	80.79	9.03
3	71.6	80.79	9.19

Tabel B 6. Data pengulangan ke-5 daya keluaran fiber optik yang dilengkungkan

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μ W)	daya keluaran awal (μ W)	selisih daya keluaran (μ W)
27	80.59	80.85	0.26
12	80.42	80.83	0.41
9	78.18	81	2.82
6	72.45	81.2	8.75
5	72.1	80.8	8.7

4	71.76	80.79	9.03
3	71.6	80.79	9.19

Tabel B 7. Data pengulangan ke-6 daya keluaran fiber optik yang dilengkungkan

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μ W)	daya keluaran awal (μ W)	selisih daya keluaran (μ W)
27	80.59	80.85	0.26
12	80.42	80.83	0.41
9	78.18	81	2.82
6	72.45	81.2	8.75
5	72.1	80.8	8.7
4	71.76	80.79	9.03
3	71.6	80.79	9.19

Tabel B 8. Data pengulangan ke-7 daya keluaran fiber optik yang dilengkungkan

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μ W)	daya keluaran awal (μ W)	selisih daya keluaran (μ W)
27	80.59	80.85	0.26
12	80.42	80.83	0.41
9	78.18	81	2.82
6	72.45	81.2	8.75
5	72.1	80.8	8.7
4	71.76	80.79	9.03
3	71.6	80.79	9.19

Tabel B 9. Data pengulangan ke-8 daya keluaran fiber optik yang dilengkungkan

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μ W)	daya keluaran awal (μ W)	selisih daya keluaran (μ W)
27	80.59	80.85	0.26
12	80.4	80.83	0.43
9	78.18	81	2.82
6	72.45	81.2	8.75
5	72	80.8	8.8
4	71.76	80.79	9.03
3	71.6	80.79	9.19

Tabel B 10. Data pengulangan ke-9 daya keluaran fiber optik yang dilengkungkan

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μ W)	daya keluaran awal (μ W)	selisih daya keluaran (μ W)
27	80.59	80.85	0.26
12	80.4	80.83	0.43
9	78.18	81	2.82
6	72.45	81.2	8.75
5	72	80.8	8.8
4	71.76	80.79	9.03
3	71.6	80.79	9.19

2. Hasil pengukuran daya keluaran pada tahap pelukaan fiber dengan panjang gelombang 1310 nm dan 1550 nm.

A. Hasil pengukuran daya keluaran pada panjang gelombang 1550 nm dengan panjang pelukaan pada fiber sebesar 0.5 cm, 1 cm, 1.5 cm, 2 cm, dan 2.5 cm.

Tabel A 1. Data awal daya keluaran fiber optik yang dilukai

panjang pelukaan fiber (cm)	daya keluaran (μW)	daya keluaran awal (μW)	selisih daya keluaran (μW)
0.5	98.35	101.4	3.05
1	87.21	101.4	14.19
1.5	56.6	101.4	44.8
2	45.36	101	55.64
2.5	0.552	101.7	101.148

Tabel A 2. Data pengulangan ke-1 daya keluaran fiber optik yang dilukai

panjang pelukaan fiber (cm)	daya keluaran (μW)	daya keluaran awal (μW)	selisih daya keluaran (μW)
0.5	98.35	101.4	3.05
1	86.01	101.4	15.39
1.5	56.49	101.4	44.91
2	45.36	101	55.64
2.5	0.555	101.7	101.145

Tabel A 3. Data pengulangan ke-2 daya keluaran fiber optik yang dilukai

panjang pelukaan fiber (cm)	daya keluaran (μW)	daya keluaran awal (μW)	selisih daya keluaran (μW)
0.5	98.35	101.4	3.05
1	86.59	101.4	14.81
1.5	56.28	101.4	45.12
2	45.36	101	55.64
2.5	0.557	101.7	101.143

Tabel A 4. Data pengulangan ke-3 daya keluaran fiber optik yang dilukai

panjang pelukaan fiber (cm)	daya keluaran (μW)	daya keluaran awal (μW)	selisih daya keluaran (μW)
0.5	98.35	101.4	3.05
1	86.39	101.4	15.01
1.5	56.28	101.4	45.12
2	45.15	101	55.85
2.5	0.559	101.7	101.141

Tabel A 5. Data pengulangan ke-4 daya keluaran fiber optik yang dilukai

panjang pelukaan fiber (cm)	daya keluaran (μW)	daya keluaran awal (μW)	selisih daya keluaran (μW)
0.5	98.35	101.4	3.05
1	86.39	101.4	15.01
1.5	56.28	101.4	45.12
2	45.15	101	55.85
2.5	0.56	101.7	101.14

B. Hasil pengukuran daya keluaran pada panjang gelombang 1310 nm dengan panjang pelukaan pada fiber sebesar 0.5 cm, 1 cm, 1.5 cm, 2 cm, dan 2.5 cm.

Tabel B 1. Data awal daya keluaran fiber optik yang dilukai

panjang pelukaan fiber (cm)	daya keluaran (μW)	daya keluaran awal (μW)	selisih daya keluaran (μW)
0.5	80.35	85.66	5.31
1	74.55	85.66	11.11

1.5	44.15	85.63	41.48
2	33.51	85.69	52.18
2.5	0.49	85.63	85.14

Tabel B 2. Data pengulangan ke-1 daya keluaran fiber optik yang dilakukan

panjang pelukaan fiber (cm)	daya keluaran (μW)	daya keluaran awal (μW)	selisih daya keluaran (μW)
0.5	80.35	85.66	5.31
1	74.55	85.66	11.11
1.5	44.15	85.63	41.48
2	33.52	85.69	52.17
2.5	0.49	85.63	85.14

Tabel B 3. Data pengulangan ke-2 daya keluaran fiber optik yang dilakukan

panjang pelukaan fiber (cm)	daya keluaran (μW)	daya keluaran awal (μW)	selisih daya keluaran (μW)
0.5	80.35	85.66	5.31
1	74.55	85.66	11.11
1.5	44.15	85.63	41.48
2	33.53	85.69	52.16
2.5	0.49	85.63	85.14

Tabel B 4. Data pengulangan ke-3 daya keluaran fiber optik yang dilakukan

panjang pelukaan fiber (cm)	daya keluaran (μW)	daya keluaran awal (μW)	selisih daya keluaran (μW)
0.5	80.35	85.66	5.31

1	74.55	85.66	11.11
1.5	44.15	85.63	41.48
2	33.52	85.69	52.17
2.5	0.45	85.63	85.18

Tabel B 5. Data pengulangan ke-4 daya keluaran fiber optik yang dilukai

panjang pelukaan fiber (cm)	daya keluaran (μW)	daya keluaran awal (μW)	selisih daya keluaran (μW)
0.5	80.35	85.66	5.31
1	74.55	85.66	11.11
1.5	44.15	85.63	41.48
2	33.52	85.69	52.17
2.5	0.45	85.63	85.18

3. Hasil pengukuran daya keluaran pada tahap pelukaan dan pelengkungan dengan panjang gelombang 1310 nm dan 1550 nm.

A. Hasil pengukuran daya keluaran pada panjang gelombang 1550 nm dengan panjang pelukaan pada fiber sebesar 0.5 cm, 1 cm, 1.5 cm, 2 cm, dan 2.5 cm dan diameter pelengkungan sebesar 3 cm, 4 cm, 5cm, 6 cm, 9 cm, 12 cm, 27 cm.

Tabel A 1. Data awal daya keluaran fiber optik yang dilukai sekaligus dilengkungkan dengan pelukaan fiber optik sebesar 0.5 cm.

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μW)	daya keluaran awal (μW)	selisih daya keluaran (μW)
27	97.54	98.35	0.81

12	95.98	98.35	2.37
9	94.35	98.35	4
6	90.96	98.33	7.37
5	90.58	98.54	7.96
4	90.42	98.54	8.12
3	90.27	98.58	8.31

Tabel A 2. Data awal daya keluaran fiber optik yang dilukai sekaligus dilengkungkan dengan pelukaan fiber optik sebesar 1 cm.

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μ W)	daya keluaran awal (μ W)	selisih daya keluaran (μ W)
27	86.4	87.21	0.81
12	85.65	87.21	1.56
9	84.78	87.26	2.48
6	84.23	87.3	3.07
5	81.94	87.54	5.6
4	81.82	87.57	5.75
3	81.56	87.57	6.01

Tabel A 3. Data awal daya keluaran fiber optik yang dilukai sekaligus dilengkungkan dengan pelukaan fiber optik sebesar 1.5 cm.

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μ W)	daya keluaran awal (μ W)	selisih daya keluaran (μ W)
27	55.98	56.6	0.62
12	53.9	56.6	2.7
9	52.86	56.8	3.94
6	51.93	56.8	4.87

5	51.75	57	5.25
4	51.69	57.2	5.51
3	51.59	57.2	5.61

Tabel A 4. Data awal daya keluaran fiber optik yang dilukai sekaligus dilengkungkan dengan pelukaan fiber optik sebesar 2 cm.

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μ W)	daya keluaran awal (μ W)	selisih daya keluaran (μ W)
27	44.93	45.36	0.43
12	43.52	45.38	1.86
9	41.96	45.39	3.43
6	40.58	45.4	4.82
5	40.47	45	4.53
4	40.39	45.4	5.01
3	40.15	45.5	5.35

Tabel A 5. Data pengulangan ke-1 daya keluaran fiber optik yang dilukai sekaligus dilengkungkan dengan pelukaan fiber optik sebesar 0.5 cm.

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μ W)	daya keluaran awal (μ W)	selisih daya keluaran (μ W)
27	97.54	98.35	0.81
12	95.98	98.35	2.37
9	94.35	98.35	4
6	90.96	98.33	7.37
5	90.58	98.54	7.96
4	90.42	98.54	8.12
3	90.27	98.58	8.31

Tabel A 6. Data pengulangan ke-1 daya keluaran fiber optik yang dilukai sekaligus dilengkungkan dengan pelukaan fiber optik sebesar 1 cm.

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μ W)	daya keluaran awal (μ W)	selisih daya keluaran (μ W)
27	86.4	87.21	0.81
12	85.65	87.21	1.56
9	84.78	87.26	2.48
6	84.23	87.3	3.07
5	81.94	87.54	5.6
4	81.82	87.57	5.75
3	81.56	87.57	6.01

Tabel A 7. Data pengulangan ke-1 daya keluaran fiber optik yang dilukai sekaligus dilengkungkan dengan pelukaan fiber optik sebesar 1.5 cm.

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μ W)	daya keluaran awal (μ W)	selisih daya keluaran (μ W)
27	55.98	56.6	0.62
12	53.9	56.6	2.7
9	52.86	56.8	3.94
6	51.93	56.8	4.87
5	51.75	57	5.25
4	51.69	57.2	5.51
3	51.59	57.2	5.61

Tabel A 8. Data pengulangan ke-1 daya keluaran fiber optik yang dilukai sekaligus dilengkungkan dengan pelukaan fiber optik sebesar 2 cm.

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μW)	daya keluaran awal (μW)	selisih daya keluaran (μW)
27	44.93	45.36	0.43
12	43.52	45.38	1.86
9	41.96	45.39	3.43
6	40.58	45.4	4.82
5	40.47	45	4.53
4	40.39	45.4	5.01
3	40.15	45.5	5.35

Tabel A 9. Data pengulangan ke-2 daya keluaran fiber optik yang dilukai sekaligus dilengkungkan dengan pelukaan fiber optik sebesar 0.5 cm.

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μW)	daya keluaran awal (μW)	selisih daya keluaran (μW)
27	97.54	98.35	0.81
12	95.98	98.35	2.37
9	94.35	98.35	4
6	90.96	98.33	7.37
5	90.58	98.54	7.96
4	90.42	98.54	8.12
3	90.27	98.58	8.31

Tabel A 10. Data pengulangan ke-2 daya keluaran fiber optik yang dilukai sekaligus dilengkungkan dengan pelukaan fiber optik sebesar 1 cm.

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μW)	daya keluaran awal (μW)	selisih daya keluaran (μW)
27	86.4	87.21	0.81

12	85.65	87.21	1.56
9	84.78	87.26	2.48
6	84.23	87.3	3.07
5	81.94	87.54	5.6
4	81.82	87.57	5.75
3	81.56	87.57	6.01

Tabel A 11. Data pengulangan ke-2 daya keluaran fiber optik yang dilukai sekaligus dilengkungkan dengan pelukaan fiber optik sebesar 1.5 cm.

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μW)	daya keluaran awal (μW)	selisih daya keluaran (μW)
27	55.98	56.6	0.62
12	53.9	56.6	2.7
9	52.86	56.8	3.94
6	51.93	56.8	4.87
5	51.75	57	5.25
4	51.69	57.2	5.51
3	51.59	57.2	5.61

Tabel A 12. Data pengulangan ke-2 daya keluaran fiber optik yang dilukai sekaligus dilengkungkan dengan pelukaan fiber optik sebesar 2 cm.

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μW)	daya keluaran awal (μW)	selisih daya keluaran (μW)
27	44.93	45.36	0.43
12	43.52	45.38	1.86
9	41.96	45.39	3.43
6	40.58	45.4	4.82

5	40.47	45	4.53
4	40.39	45.4	5.01
3	40.15	45.5	5.35

Tabel A 13. Data pengulangan ke-3 daya keluaran fiber optik yang dilukai sekaligus dilengkungkan dengan pelukaan fiber optik sebesar 0.5 cm.

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μ W)	daya keluaran awal (μ W)	selisih daya keluaran (μ W)
27	97.54	98.35	0.81
12	95.98	98.35	2.37
9	94.35	98.35	4
6	90.96	98.33	7.37
5	90.58	98.54	7.96
4	90.42	98.54	8.12
3	90.27	98.58	8.31

Tabel A 14. Data pengulangan ke-3 daya keluaran fiber optik yang dilukai sekaligus dilengkungkan dengan pelukaan fiber optik sebesar 1 cm.

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μ W)	daya keluaran awal (μ W)	selisih daya keluaran (μ W)
27	86.4	87.21	0.81
12	85.65	87.21	1.56
9	84.78	87.26	2.48
6	84.23	87.3	3.07
5	81.94	87.54	5.6
4	81.82	87.57	5.75
3	81.56	87.57	6.01

Tabel A 15. Data pengulangan ke-3 daya keluaran fiber optik yang dilukai sekaligus dilengkungkan dengan pelukaan fiber optik sebesar 1.5 cm.

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μ W)	daya keluaran awal (μ W)	selisih daya keluaran (μ W)
27	55.98	56.6	0.62
12	53.9	56.6	2.7
9	52.86	56.8	3.94
6	51.93	56.8	4.87
5	51.75	57	5.25
4	51.69	57.2	5.51
3	51.59	57.2	5.61

Tabel A 16. Data pengulangan ke-3 daya keluaran fiber optik yang dilukai sekaligus dilengkungkan dengan pelukaan fiber optik sebesar 2 cm.

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μ W)	daya keluaran awal (μ W)	selisih daya keluaran (μ W)
27	44.93	45.36	0.43
12	43.52	45.38	1.86
9	41.96	45.39	3.43
6	40.58	45.4	4.82
5	40.47	45	4.53
4	40.39	45.4	5.01
3	40.15	45.5	5.35

Tabel A 17. Data pengulangan ke-4 daya keluaran fiber optik yang dilukai sekaligus dilengkungkan dengan pelukaan fiber optik sebesar 0.5 cm.

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μW)	daya keluaran awal (μW)	selisih daya keluaran (μW)
27	97.54	98.35	0.81
12	95.98	98.35	2.37
9	94.35	98.35	4
6	90.96	98.33	7.37
5	90.58	98.54	7.96
4	90.42	98.54	8.12
3	90.27	98.58	8.31

Tabel A 18. Data pengulangan ke-4 daya keluaran fiber optik yang dilukai sekaligus dilengkungkan dengan pelukaan fiber optik sebesar 1 cm.

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μW)	daya keluaran awal (μW)	selisih daya keluaran (μW)
27	86.4	87.21	0.81
12	85.65	87.21	1.56
9	84.78	87.26	2.48
6	84.23	87.3	3.07
5	81.94	87.54	5.6
4	81.82	87.57	5.75
3	81.56	87.57	6.01

Tabel A 19. Data pengulangan ke-4 daya keluaran fiber optik yang dilukai sekaligus dilengkungkan dengan pelukaan fiber optik sebesar 1.5 cm.

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μW)	daya keluaran awal (μW)	selisih daya keluaran (μW)
27	55.98	56.6	0.62

12	53.9	56.6	2.7
9	52.86	56.8	3.94
6	51.93	56.8	4.87
5	51.75	57	5.25
4	51.69	57.2	5.51
3	51.59	57.2	5.61

Tabel A 20. Data pengulangan ke-4 daya keluaran fiber optik yang dilukai sekaligus dilengkungkan dengan pelukaan fiber optik sebesar 2 cm.

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μ W)	daya keluaran awal (μ W)	selisih daya keluaran (μ W)
27	44.93	45.36	0.43
12	43.52	45.38	1.86
9	41.96	45.39	3.43
6	40.58	45.4	4.82
5	40.47	45	4.53
4	40.39	45.4	5.01
3	40.15	45.5	5.35

B. Hasil pengukuran daya keluaran pada panjang gelombang 1310 nm dengan panjang pelukaan pada fiber sebesar 0.5 cm, 1 cm, 1.5 cm, 2 cm, dan 2.5 cm dan diameter pelengkungan sebesar 3 cm, 4 cm, 5cm, 6 cm, 9 cm, 12 cm, 27 cm.

Tabel B 1. Data awal daya keluaran fiber optik yang dilukai sekaligus dilengkungkan dengan pelukaan fiber optik sebesar 0.5 cm.

diameter lengkungan	daya keluaran	daya keluaran awal (μ W)	selisih daya keluaran (μ W)
------------------------	------------------	----------------------------------	-------------------------------------

(cm)	(μW)		
27	79.58	80.35	0.77
12	77.89	80.35	2.46
9	76.32	80.39	4.07
6	71.98	81	9.02
5	71.87	81.3	9.43
4	71.64	81.3	9.66
3	71.29	81	9.71

Tabel B 2. Data awal daya keluaran fiber optik yang dilukai sekaligus dilengkungkan dengan pelukaan fiber optik sebesar 1 cm.

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μW)	daya keluaran awal (μW)	selisih daya keluaran (μW)
27	73.87	74.55	0.68
12	72.65	74.55	1.9
9	70.96	74.58	3.62
6	67.48	74.6	7.12
5	67.19	74.68	7.49
4	67.1	74.64	7.54
3	66.65	74.68	8.03

Tabel B 3. Data awal daya keluaran fiber optik yang dilukai sekaligus dilengkungkan dengan pelukaan fiber optik sebesar 1.5 cm.

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μW)	daya keluaran awal (μW)	selisih daya keluaran (μW)
27	43.43	44.15	0.72
12	41.17	44.15	2.98

9	40.16	44.24	4.08
6	39.12	44.3	5.18
5	38.96	44.24	5.28
4	38.85	44.27	5.42
3	38.62	44.27	5.65

Tabel B 4. Data awal daya keluaran fiber optik yang dilukai sekaligus dilengkungkan dengan pelukaan fiber optik sebesar 2 cm.

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μW)	daya keluaran awal (μW)	selisih daya keluaran (μW)
27	33	33.51	0.51
12	30.97	33.51	2.54
9	30.14	33.57	3.43
6	28.76	33.58	4.82
5	28.12	33.6	5.48
4	27.98	33.57	5.59
3	27.86	33.63	5.77

Tabel B 5. Data pengulangan ke-1 daya keluaran fiber optik yang dilukai sekaligus dilengkungkan dengan pelukaan fiber optik sebesar 0.5 cm.

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μW)	daya keluaran awal (μW)	selisih daya keluaran (μW)
27	79.58	80.35	0.77
12	77.89	80.35	2.46
9	76.32	80.39	4.07
6	71.98	81	9.02
5	71.87	81.3	9.43

4	71.64	81.3	9.66
3	71.29	81	9.71

Tabel B 6. Data pengulangan ke-1 daya keluaran fiber optik yang dilukai sekaligus dilengkungkan dengan pelukaan fiber optik sebesar 1 cm.

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μW)	daya keluaran awal (μW)	selisih daya keluaran (μW)
27	73.87	74.55	0.68
12	72.65	74.55	1.9
9	70.96	74.58	3.62
6	67.48	74.6	7.12
5	67.19	74.68	7.49
4	67.1	74.64	7.54
3	66.65	74.68	8.03

Tabel B 7. Data pengulangan ke-1 daya keluaran fiber optik yang dilukai sekaligus dilengkungkan dengan pelukaan fiber optik sebesar 1.5 cm.

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μW)	daya keluaran awal (μW)	selisih daya keluaran (μW)
27	43.43	44.15	0.72
12	41.17	44.15	2.98
9	40.16	44.24	4.08
6	39.12	44.3	5.18
5	38.96	44.24	5.28
4	38.85	44.27	5.42
3	38.62	44.27	5.65

Tabel B 8. Data pengulangan ke-1 daya keluaran fiber optik yang dilukai sekaligus dilengkungkan dengan pelukaan fiber optik sebesar 2 cm.

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μW)	daya keluaran awal (μW)	selisih daya keluaran (μW)
27	33	33.51	0.51
12	30.97	33.51	2.54
9	30.14	33.57	3.43
6	28.76	33.58	4.82
5	28.12	33.6	5.48
4	27.98	33.57	5.59
3	27.86	33.63	5.77

Tabel B 9. Data pengulangan ke-2 daya keluaran fiber optik yang dilukai sekaligus dilengkungkan dengan pelukaan fiber optik sebesar 0.5 cm.

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μW)	daya keluaran awal (μW)	selisih daya keluaran (μW)
27	79.58	80.35	0.77
12	77.89	80.35	2.46
9	76.32	80.39	4.07
6	71.98	81	9.02
5	71.87	81.3	9.43
4	71.64	81.3	9.66
3	71.29	81	9.71

Tabel B 10. Data pengulangan ke-2 daya keluaran fiber optik yang dilukai sekaligus dilengkungkan dengan pelukaan fiber optik sebesar 1 cm.

diameter	daya	daya keluaran	selisih daya
----------	------	---------------	--------------

lengkungan (cm)	keluaran (μ W)	awal (μ W)	keluaran (μ W)
27	73.87	74.55	0.68
12	72.65	74.55	1.9
9	70.96	74.58	3.62
6	67.48	74.6	7.12
5	67.19	74.68	7.49
4	67.1	74.64	7.54
3	66.65	74.68	8.03

Tabel B 12. Data pengulangan ke-2 daya keluaran fiber optik yang dilukai sekaligus dilengkungkan dengan pelukaan fiber optik sebesar 2 cm.

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μ W)	daya keluaran awal (μ W)	selisih daya keluaran (μ W)
27	43.43	44.15	0.72
12	41.17	44.15	2.98
9	40.16	44.24	4.08
6	39.12	44.3	5.18
5	38.96	44.24	5.28
4	38.85	44.27	5.42
3	38.62	44.27	5.65

Tabel B 13. Data pengulangan ke-3 daya keluaran fiber optik yang dilukai sekaligus dilengkungkan dengan pelukaan fiber optik sebesar 0.5 cm.

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μ W)	daya keluaran awal (μ W)	selisih daya keluaran (μ W)
27	79.58	80.35	0.77
12	77.89	80.35	2.46

9	76.32	80.39	4.07
6	71.98	81	9.02
5	71.87	81.3	9.43
4	71.64	81.3	9.66
3	71.29	81	9.71

Tabel B 14. Data pengulangan ke-3 daya keluaran fiber optik yang dilukai sekaligus dilengkungkan dengan pelukaan fiber optik sebesar 1 cm.

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μ W)	daya keluaran awal (μ W)	selisih daya keluaran (μ W)
27	73.87	74.55	0.68
12	72.65	74.55	1.9
9	70.96	74.58	3.62
6	67.48	74.6	7.12
5	67.19	74.68	7.49
4	67.1	74.64	7.54
3	66.65	74.68	8.03

Tabel B 15. Data pengulangan ke-3 daya keluaran fiber optik yang dilukai sekaligus dilengkungkan dengan pelukaan fiber optik sebesar 1.5 cm.

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μ W)	daya keluaran awal (μ W)	selisih daya keluaran (μ W)
27	43.43	44.15	0.72
12	41.17	44.15	2.98
9	40.16	44.24	4.08
6	39.12	44.3	5.18
5	38.96	44.24	5.28

4	38.85	44.27	5.42
3	38.62	44.27	5.65

Tabel B 16. Data pengulangan ke-3 daya keluaran fiber optik yang dilukai sekaligus dilengkungkan dengan pelukaan fiber optik sebesar 2 cm.

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μW)	daya keluaran awal (μW)	selisih daya keluaran (μW)
27	33	33.51	0.51
12	30.97	33.51	2.54
9	30.14	33.57	3.43
6	28.76	33.58	4.82
5	28.12	33.6	5.48
4	27.98	33.57	5.59
3	27.86	33.63	5.77

Tabel B 17. Data pengulangan ke-4 daya keluaran fiber optik yang dilukai sekaligus dilengkungkan dengan pelukaan fiber optik sebesar 0.5 cm.

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μW)	daya keluaran awal (μW)	selisih daya keluaran (μW)
27	79.58	80.35	0.77
12	77.89	80.35	2.46
9	76.32	80.39	4.07
6	71.98	81	9.02
5	71.87	81.3	9.43
4	71.64	81.3	9.66
3	71.29	81	9.71

Tabel B 18. Data pengulangan ke-4 daya keluaran fiber optik yang dilukai sekaligus dilengkungkan dengan pelukaan fiber optik sebesar 1 cm.

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μW)	daya keluaran awal (μW)	selisih daya keluaran (μW)
27	73.87	74.55	0.68
12	72.65	74.55	1.9
9	70.96	74.58	3.62
6	67.48	74.6	7.12
5	67.19	74.68	7.49
4	67.1	74.64	7.54
3	66.65	74.68	8.03

Tabel B 19. Data pengulangan ke-4 daya keluaran fiber optik yang dilukai sekaligus dilengkungkan dengan pelukaan fiber optik sebesar 1.5 cm.

diameter lengkungan (cm)	daya keluaran (μW)	daya keluaran awal (μW)	selisih daya keluaran (μW)
27	43.43	44.15	0.72
12	41.17	44.15	2.98
9	40.16	44.24	4.08
6	39.12	44.3	5.18
5	38.96	44.24	5.28
4	38.85	44.27	5.42
3	38.62	44.27	5.65

Tabel B 20. Data pengulangan ke-4 daya keluaran fiber optik yang dilukai sekaligus dilengkungkan dengan pelukaan fiber optik sebesar 2 cm

diameter	daya	daya keluaran	selisih daya
----------	------	---------------	--------------

lengkungan (cm)	keluaran (μ W)	awal (μ W)	keluaran (μ W)
27	33	33.51	0.51
12	30.97	33.51	2.54
9	30.14	33.57	3.43
6	28.76	33.58	4.82
5	28.12	33.6	5.48
4	27.98	33.57	5.59
3	27.86	33.63	5.77



BIODATA PENULIS



Afani Sakinah lahir di Gresik, 01 Agustus 1994, anak terakhir (anak ke-6 dari 6 saudara). Penulis menempuh pendidikan formal di TK Dharma Wanita Sidayu-Gresik, MI Islamiyah Sidayu-Gresik (1999-2005), MTS. Kanjeng Sepuh Sidayu-Gresik (2005-2008), MA. Kanjeng Sepuh Sidayu-Gresik (2008-2011). Kemudian Penulis diterima di Perguruan Tinggi Jurusan Fisika ITS lewat jalur SNMPTN Undangan. Penulis

sempat aktif dalam kampus Himpunan Mahasiswa Fisika ITS (HIMASIKA ITS) menjabat sebagai staf departemen Sosial Masyarakat periode 2012-2013 dan periode 2013-2014. Untuk keterangan lebih jelas mengenai tugas akhir ini dapat menghubungi penulis melalui email afani.varly@gmail.com

